Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

REGIONE CALABRIA

INVITALIA

SACAL SOCIETA' AEROPORTUALE CALABRESE

ENAC ENTE NAZIONALE PER L'AVIAZIONE CIVILE

Comune di Lamezia Terme

Comune di Gizzeria

Agenzia per la Coesione Territoriale

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ministro per gli Affari Europei, il Sud, le Politiche di Coesione e il PNRR

MINISTERO DELL'INTERNO

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

MEF Ministero dell'Economia e delle Finanze

Mims Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

MINISTERO DEL TURISMO REPUBBLICA ITALIANA

SACAL

Società Aeroportuale Calabrese
Crotone, Lamezia Terme, Reggio Calabria

A.U. - Accountable Manager: Marco FRANCHINI
Post Holder Progettazione : ing. Stefania RAIMONDO
Post Holder Manutenzione: ing. Filippo MALAFARINA
Post Holder Terminal: dott.ssa Sabrina MILETO
RUP: Ing. Matteo MASTROIANNI
RSPP SACAL - EX D.LGS 81/08 :dott. Cristian RASO

RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA

CIG: A0159668F5 CUP: H81D2200009002

Ambito di intervento: Trasporti e mobilità sostenibili – Fondi CIS scheda L05

PROGETTO ESECUTIVO

RILIEVI E INDAGINI - Report indagini geofisiche

PROGETTISTI:

Mandataria

HYpro srl

Mandanti

CORFONE + PARTNERS studios for urban architecture
Ph.D. Arch. Cesare CORFONE

SGMadeo
Archeol. Simone Giosuè MADEO

TEAM DI LAVORO

Responsabile progettazione opere infrastrutturali V.02: **Ing. Michele SISINNO**

Responsabile progettazione opere strutturali S.04 - Resp.ITACA: **Ing. Maurizio CARUSO**

Responsabile progettazione opere impiantistiche IB.04: **Ing. Raffaele CIARDULLO**

Responsabile progettazione interventi naturalistici e paesaggistici P.01: **Arch. Cesare CORFONE**

Responsabile progettazione edile E.19 e E.20: **Arch. Cesare CORFONE**

Archeologo: **Archeol. Simone Giosuè MADEO**

Geologo: **Geol. Giuseppe CERCHIARO**

Direttore operativo Geologia: **Geol. Giovanni DE FAZIO**

Coordinatore per la sicurezza in fase di Progettazione:
Ing. Roberto NUCCI

Progettista e responsabile integrazioni e prestazioni specialistiche:
Ing. Daniele NUCCI

ORDINE INGEGNERI COSENZA – Ingegnere DANIELE NUCCI – Laurea Specialistica – Sezione: A n. 6183 – Settore Civile Ambientale

COMMITTENTE

S.A.CAL. S.p.A
Società Aeroportuale Calabrese
Via Aeroporto - 88046 Lamezia terme(CZ) ITALIA
Tel +39 0968-414212

PH Progettazione
Ing. Stefania RAIMONDO

PH Manutenzione
Ing. Filippo MALAFARINA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Matteo MASTROIANNI

Approvazione ENAC

Approvazione ENTI

CODICE ELABORATO: PE_RI_00_REL_03_A

SCALA:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Giugno 2025	PRIMA EMISSIONE	M.Santoro	G.De Fazio	D.Nucci

RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA

SISMICA ATTIVA

1 PREMESSA 2
2 INDAGINE SISMICA M.A.S.W. 3
2.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 4
2.2 RISULTATI OTTENUTI 5
2.2.1 MASW1 6
2.2.2 MASW2 10
2.2.3 MASW3 14
2.2.4 MASW4 18
2.2.5 MASW5 22
2.2.6 MASW6 26
2.2.7 MASW7 30
2.2.8 MASW8 34
2.2.9 MASW9 38
2.2.10 MASW10 42
2.2.11 MASW11 46
3 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZI0NE TOMOGRAFICA 49
3.1 SISTEMA DI ACQUISIZIONE 50
3.2 RISULTATI OTTENUTI 52
3.2.1 TS 1 52
3.2.2 TS 2 60
3.2.3 TS 3 68
3.2.4 TS 4 76
3.2.5 TS 5 84
3.2.6 TS 6 92
3.2.7 TS 7 100
3.2.8 TS8 108
3.2.9 TS9 116
3.2.10 TS10 124
3.2.11 TS11 132
ALLEGATO A: Cenni sulla propagazione delle onde superficiali di Rayleigh nel terreno 140
ALLEGATO B: Cenni sulla propagazione delle onde di volume nel terreno. 143
ALLEGATO C: Specifiche Tecniche Sismografo GEA 24 della PASI 149
ALLEGATO D: Report fotografico 150

1 PREMESSA

La campagna di indagini sismiche eseguite di tipo attivo è stata suddivisa in tre diverse fasi esecutive, la prima è costituita da:

- ✓ **n. 7** prove *M.A.S.W. rispettivamente dalla 1 alla 7*
- ✓ **n. 7** prove di *Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica. rispettivamente dalla 1 alla 7*

la seconda è costituita da:

- ✓ **n. 3** prove *M.A.S.W. rispettivamente dalla 8 alla 10*
- ✓ **n. 3** prove di *Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica. rispettivamente dalla 8 alla 10*

la terza è costituita da

- ✓ **n. 1** prove *M.A.S.W.11*
- ✓ **n. 1** prova *Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica. TS11*

Le indagini inerenti alle due prime fasi esecutive sono state eseguite nel mese di Maggio e Luglio 2024, mentre la terza fase esecutiva è stata eseguita nel mese di Marzo 2025.

Con la prova *M.A.S.W.* (analizzando la dispersione delle *Onde di Rayleigh*) è stato possibile determinare il valore delle velocità onde di taglio (Vs) che caratterizzano il sito, in accordo con quanto previsto dal D.M. 17 gennaio 2018 (*cfr.* cap. 2). Per ulteriori approfondimenti sulla metodologia si rimanda all'allegato A.

Con l'indagine di *Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica*, le misure effettuate con la tecnica a rifrazione possono essere elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità analizzando i primi arrivi delle onde di compressione (Onde P, dette anche Primarie) è stato possibile determinarne le velocità (VP) e realizzare, così, una sezione sismo-stratigrafica locale (*cfr.* cap. 3). Per ulteriori approfondimenti sulla metodologia si rimanda all'Allegato B.

Entrambe le indagini sono state eseguite utilizzando il sismografo GEA-24 a 24 canali della PASI srl, di cui se ne riportano le specifiche tecniche nell'allegato C. Come sorgente energizzante è stata utilizzata una massa battente (martello) fatta cadere su una piastra metallica a sezione quadrata; per l'acquisizione dell'impulso sismico sono stati utilizzati 24 geofoni verticali con frequenza di risonanza pari a 4,5 Hz per quanto concerne l'indagine *M.A.S.W.* e 24 geofoni verticali con frequenza di risonanza pari a 10 Hz per quanto riguarda l'indagine di *Sismica a Rifrazione.*

2 INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

Il metodo M.A.S.W. (Multichanel Analysis of Surface Waves) è una tecnica d'indagine, non invasiva, basata sullo studio della propagazione delle onde superficiali nel terreno. La prova consiste nel generare un impulso sismico e nel registrare, tramite appositi sensori posti sulla superficie del terreno (di seguito denominati geofoni), il conseguente treno di ondine che si generano. Nel caso in esame è stata misurata la velocità di propagazione delle onde superficiali di Rayleigh. Analizzando la dispersione di tali onde è stato possibile trarre informazioni sulla parte più superficiale del suolo e determinare, conseguentemente, il profilo di velocità delle onde di taglio verticali (Vs) entro i primi 30 metri di profondità.

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati 24 geofoni verticali con frequenza di risonanza pari a 4,5 Hz, interspaziati di 2 metro. Si è preferito eseguire nr. 4 energizzazioni coniugate (di seguito denominate scoppi) alla distanza di -4,00 m (S1 ed S4) e -2,00 m (S2 ed S3) dai geofoni nr. 1 e nr. 24, come precedentemente schematizzato: Tale scelta scaturisce dalla necessità di voler confrontare i profili di velocità ottenuti in modo da scegliere quello maggiormente aderente alla realtà geologica locale.

Non si segnalano particolari disturbi ambientali e/o antropici (noise) in grado di alterare sensibilmente il treno di ondine generate a seguito degli scoppi eseguiti. Ne consegue:

- ✓ Buona qualità dei sismogrammi derivanti dalla fase di acquisizione dati;
- ✓ Buon accordo tra modello geologico locale ed il modello sismico ottenuto.

Utilizzando una scala di attendibilità a cinque valori (1 = scarso; 2 = mediocre; 3 = sufficiente; 4 = buono; 5 = ottimo) il grado di attendibilità dell'output finale, ottenuto mediante modellazione dei dati acquisiti, risulta essere pari a 4.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di

$$V_{seq} = H / \sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{Si}}$$

propagazione delle onde di taglio che si ottiene applicando la seguente formula:

dove: H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s; h_i = spessore dello strato i-esimo; V_{Si} = velocità delle onde di taglio verticali dello strato i-esimo; N = numero di strati.

Quando il substrato si rinviene a profondità superiori ai 30 m, il valore della VSeq risulta uguale al valore della VS30, quest'ultima calcolata applicando la seguente formula:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{Si}}$$

2.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (D.M. 15/09/2005 "Testo Unico Sulle Costruzioni"), è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; in mancanza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento specificatamente previste dal *D.M. 17 gennaio 2018* come di seguito riportate:

- ✓ ***Cat A*** *: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs equivalente superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni con caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 metri.*
- ✓ ***Cat B*** *: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*
- ✓ ***Cat C*** *: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*
- ✓ ***Cat D*** *: Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori Vs equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s..*
- ✓ ***Cat E*** *: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

2.2 RISULTATI OTTENUTI

I dati acquisiti dai geofoni sono stati elaborati con il software winMASW 7.0 versione lite.
Per la *MASW 1* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S4, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 24.
Per la *MASW 2* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S1, eseguito a 2,00 m di distanza dal geofono 1.
Per la *MASW 3* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S4, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 24.
Per la *MASW 4* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S4, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 24.
Per la *MASW 5* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S2, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 1.
Per la *MASW 6* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S1, eseguito a 2,00 m di distanza dal geofono 1.
Per la *MASW 7* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S3, eseguito a 2,00 m di distanza dal geofono 24.
Per la *MASW 8* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S1, eseguito a 2,00 m di distanza dal geofono 1.
Per la *MASW 9* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S3, eseguito a 2,00 m di distanza dal geofono 24.
Per la *MASW 10* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S2, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 1.
Per la *MASW 11* sono stati considerati i sismogrammi derivanti dallo scoppio S1, eseguito a 4,00 m di distanza dal geofono 1.

In particolare, si è proceduto ad analizzare lo spettro di velocità e la dispersione delle onde superficiali di *Rayleigh* nel range di frequenze compreso tra 3Hz e 50 Hz per tutte le MASW eseguite.

2.2.1 MASW1

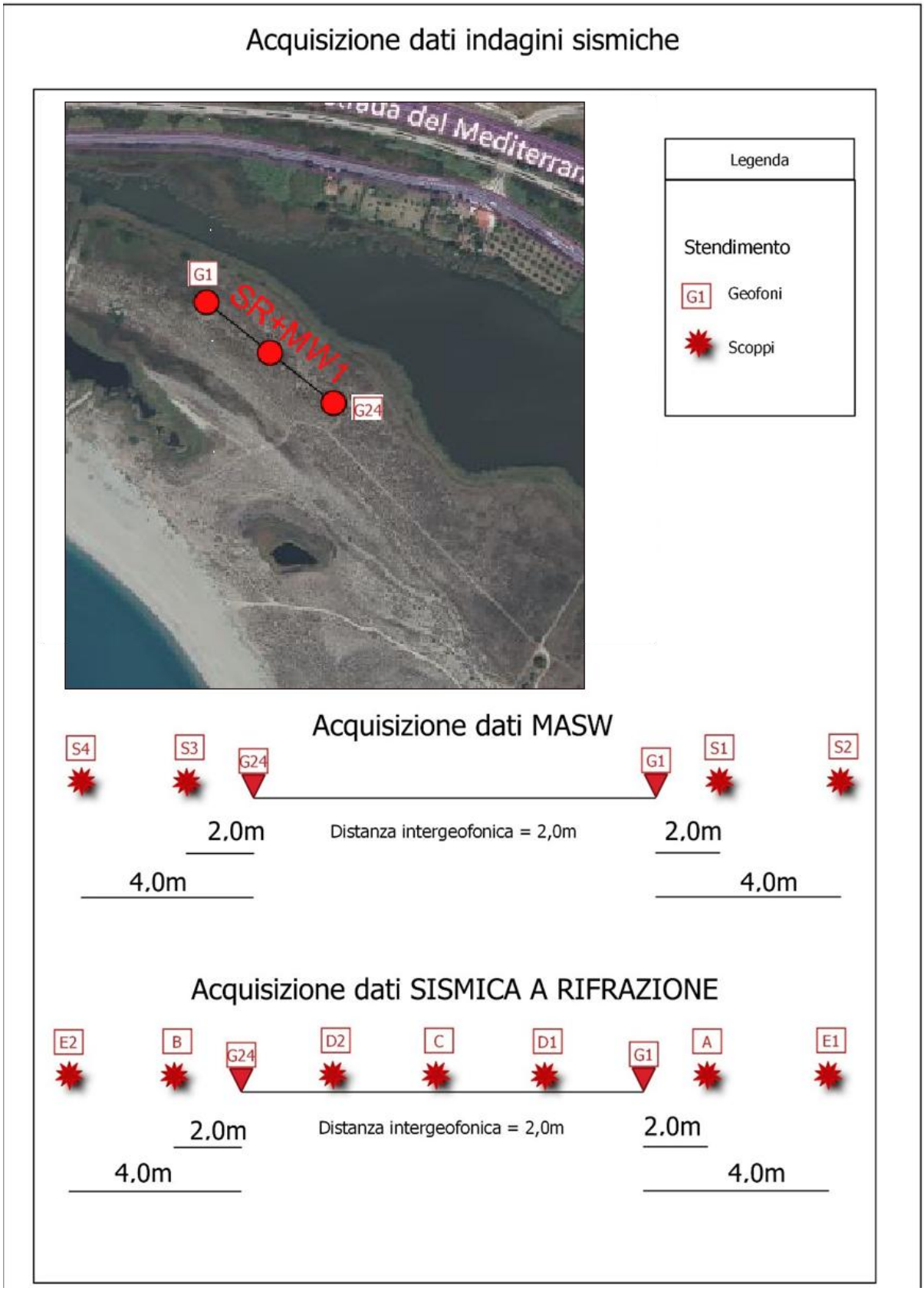


Figura 2-1 - Ubicazione MASW1 e schema di acquisizione dati.

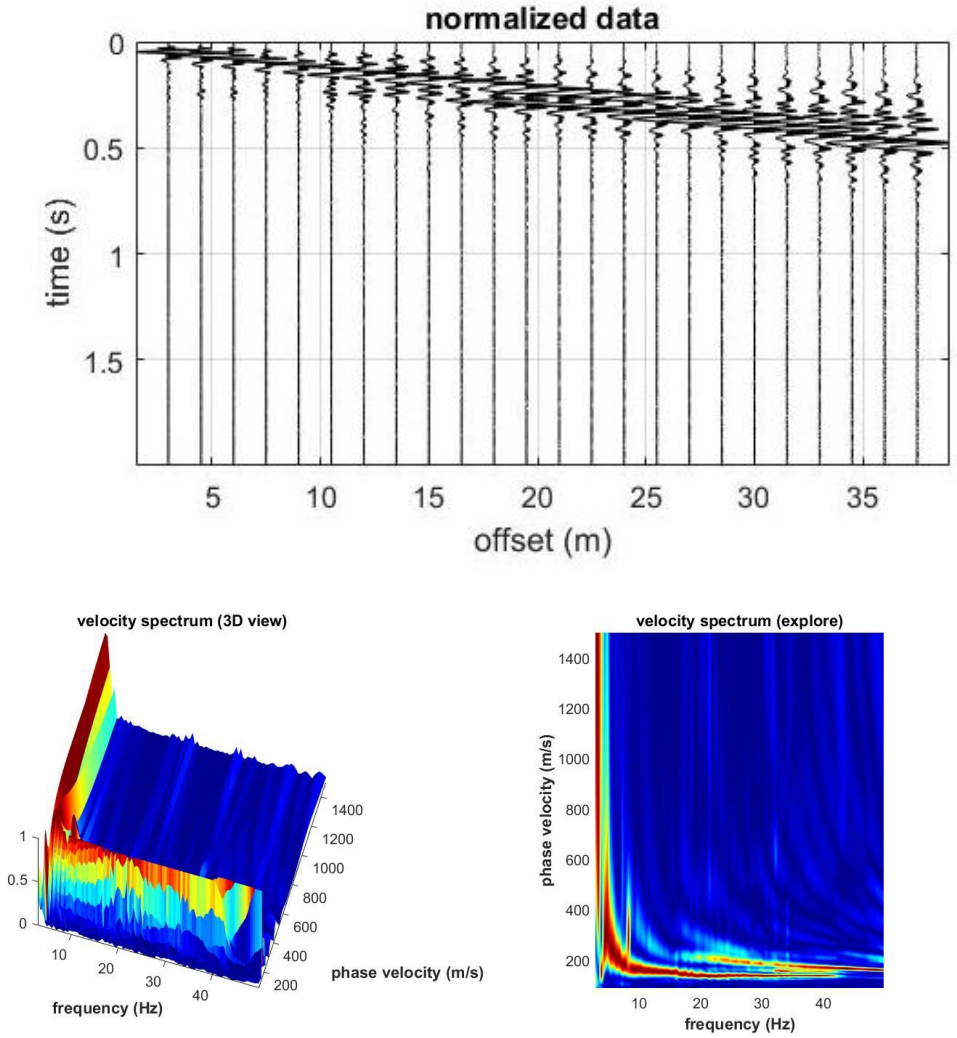


Figura 2-2 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

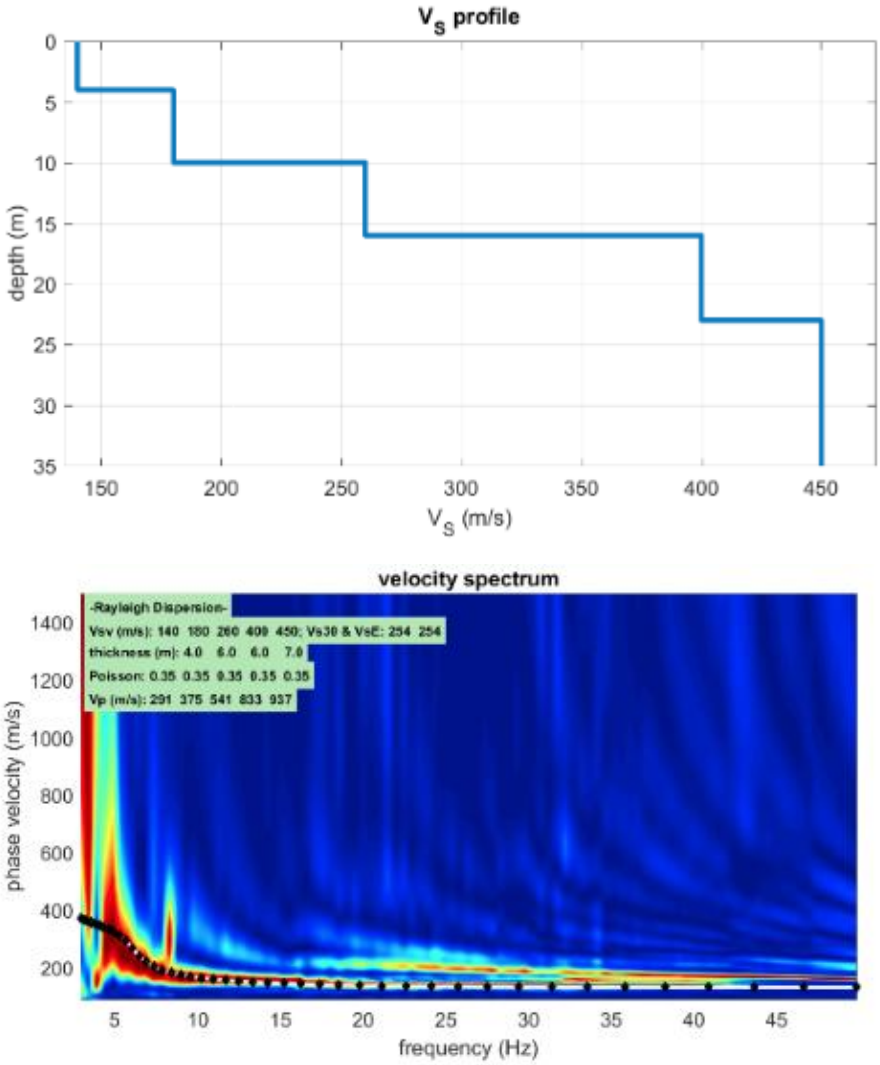


Figura 2-3 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	4,0	4,0	140	290	1,70	35	0,35	2,080
2	10,0	6,0	180	370	1.80	60	0,34	2,080
3	16,0	6,0	260	540	1,90	130	0,34	2,080
4	23,0	7,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	450	940	2,00	420	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 254								

Tabella 2-1 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.2 MASW2

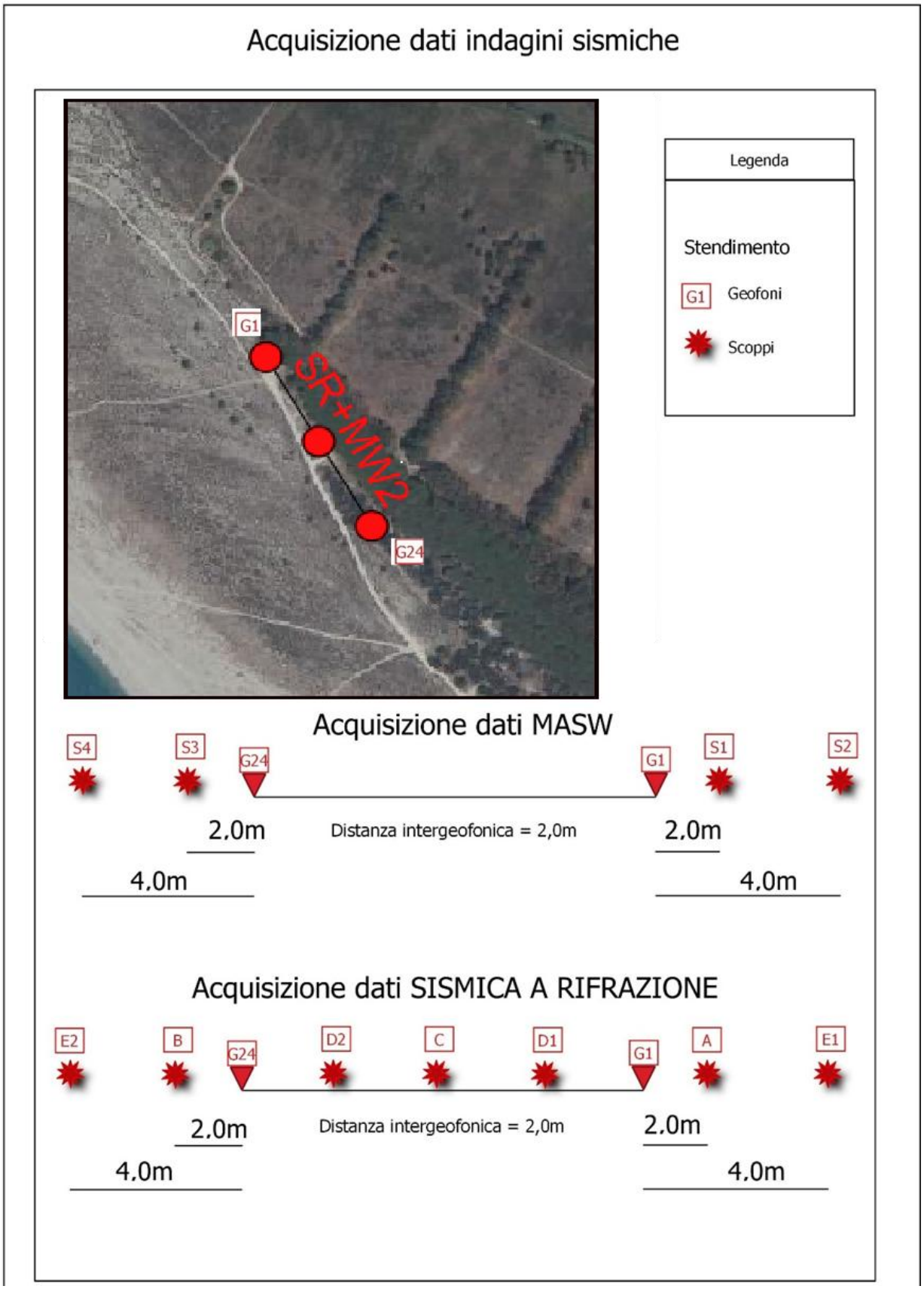


Figura 2-4 - Ubicazione MASW2 e schema di acquisizione dati.

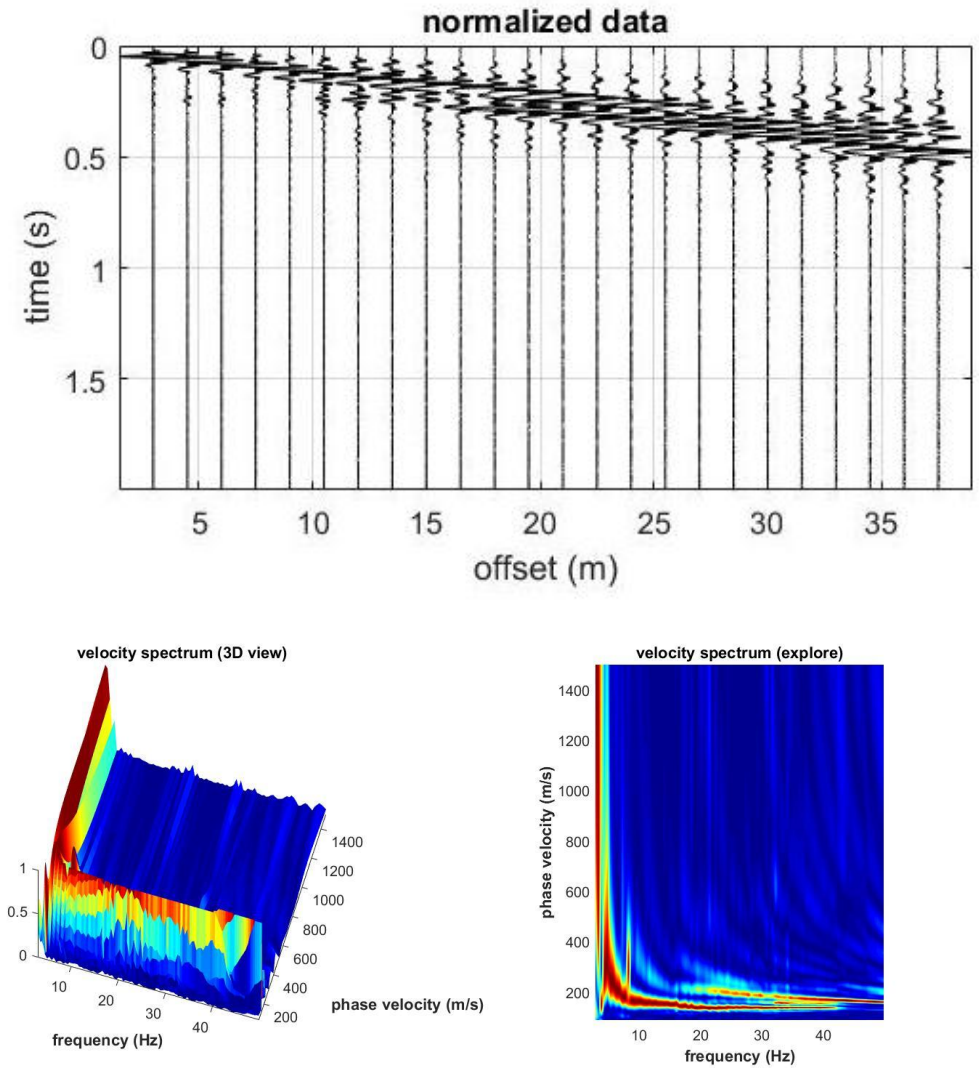


Figura 2-5 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

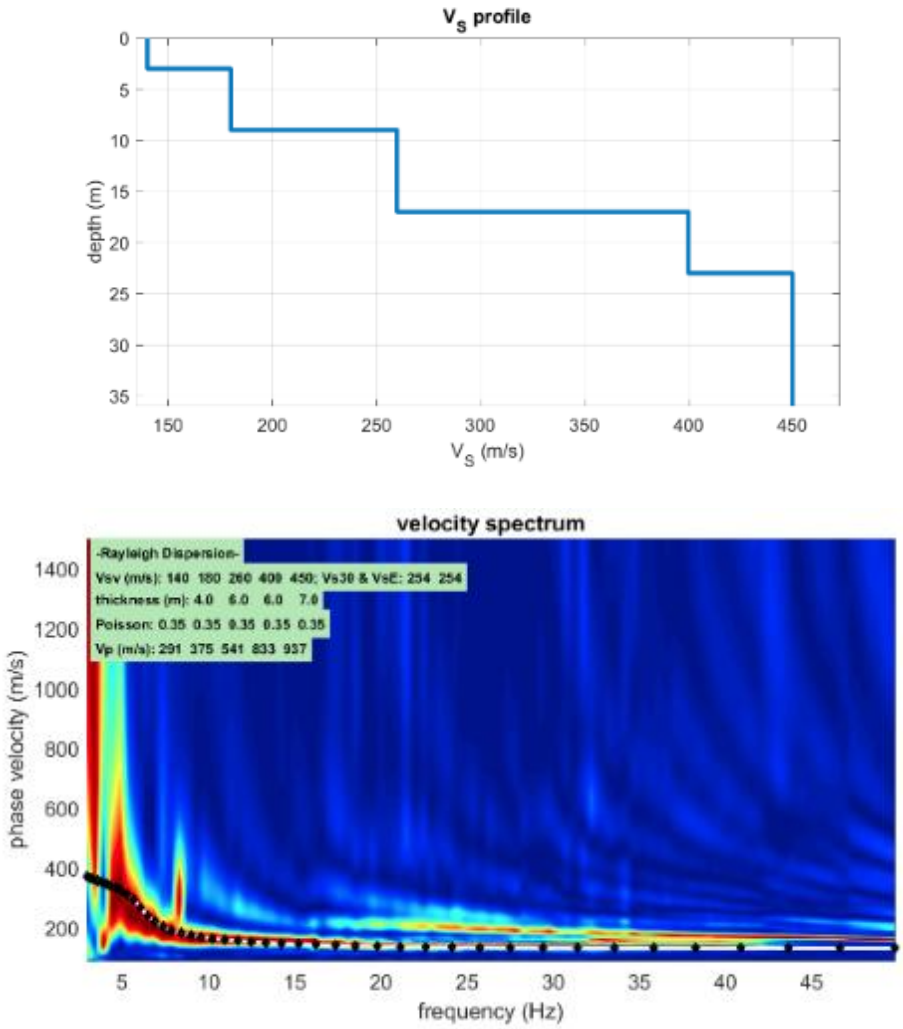


Figura 2-6 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	3,0	3,0	140	290	1,70	35	0,35	2,080
2	9,0	6,0	180	370	1.80	60	0,34	2,080
3	17,0	8,0	260	540	1,90	130	0,34	2,080
4	23,0	6,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	450	940	2,00	420	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 258								

Tabella 2-2 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere “T1”

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C****: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.3 MASW3

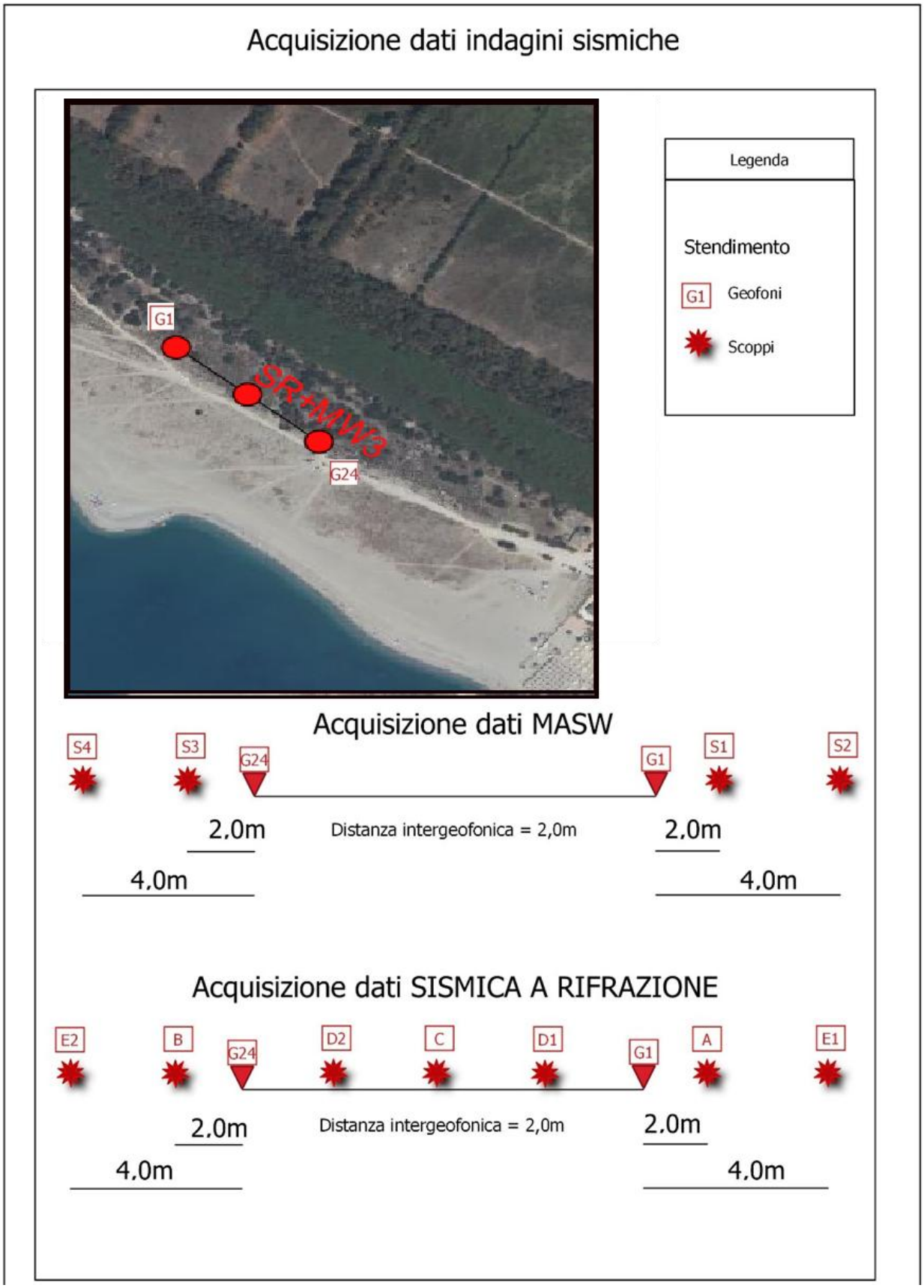


Figura 2-7 - Ubicazione MASW3 e schema di acquisizione dati.

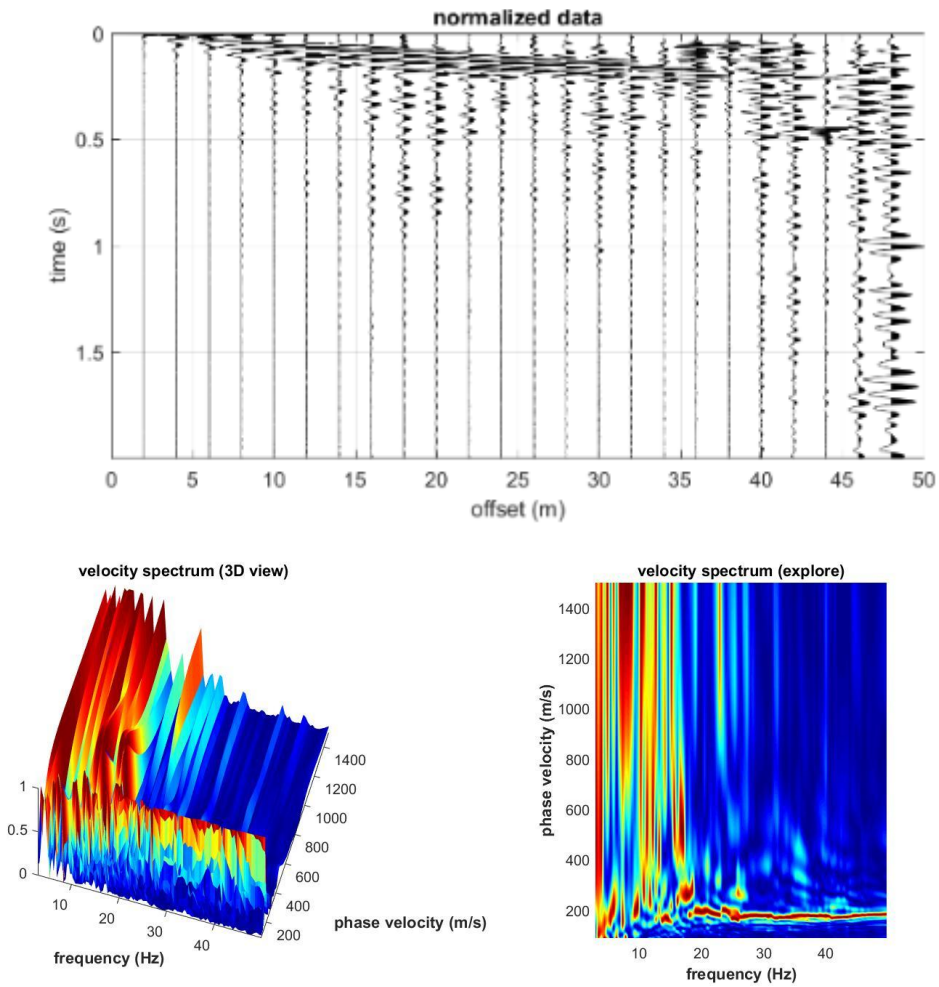


Figura 2-8 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

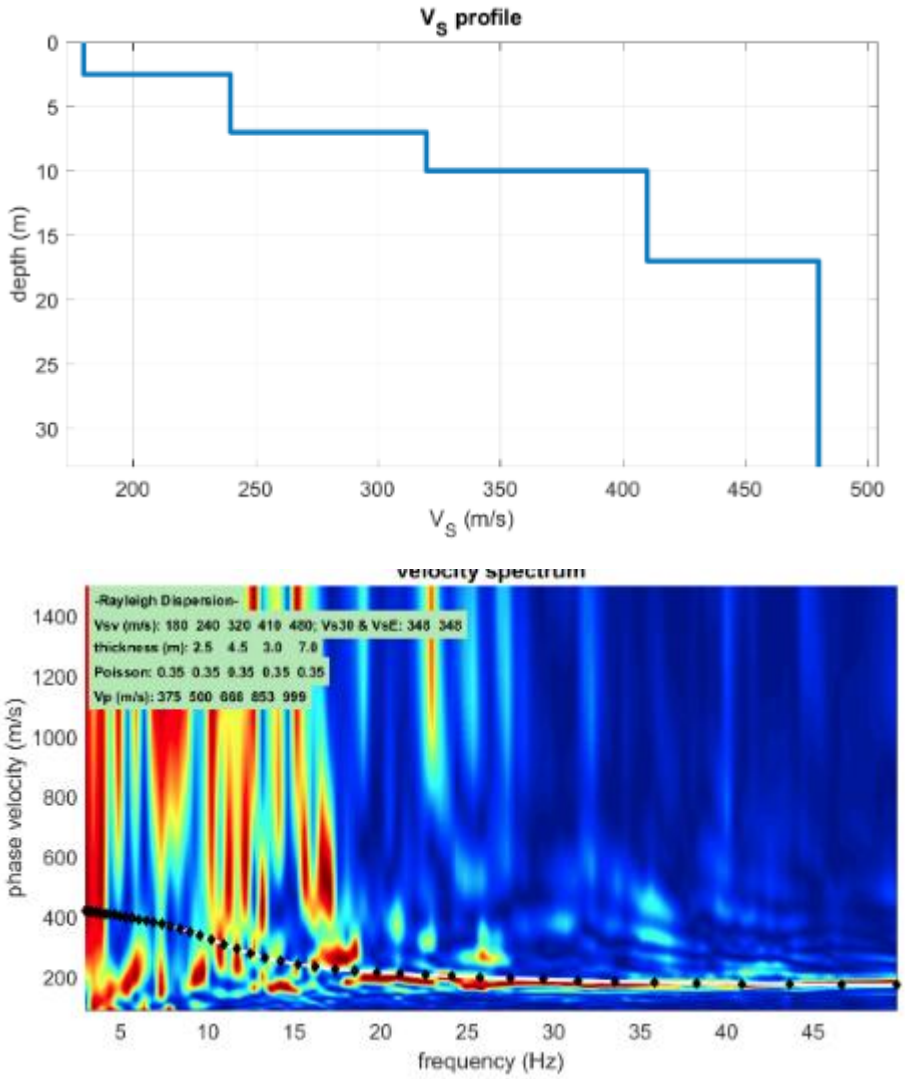


Figura 2-9 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	2,5	2,5	180	375	1,80	60	0,35	2,080
2	7,0	4,5	240	500	1.90	110	0,34	2,080
3	10,0	3,0	320	660	2,00	200	0,34	2,080
4	17,0	7,0	410	850	2,00	340	0,33	2,080
5	ind	ind	480	1000	2,10	470	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 348								

Tabella 2-3 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.4 MASW4

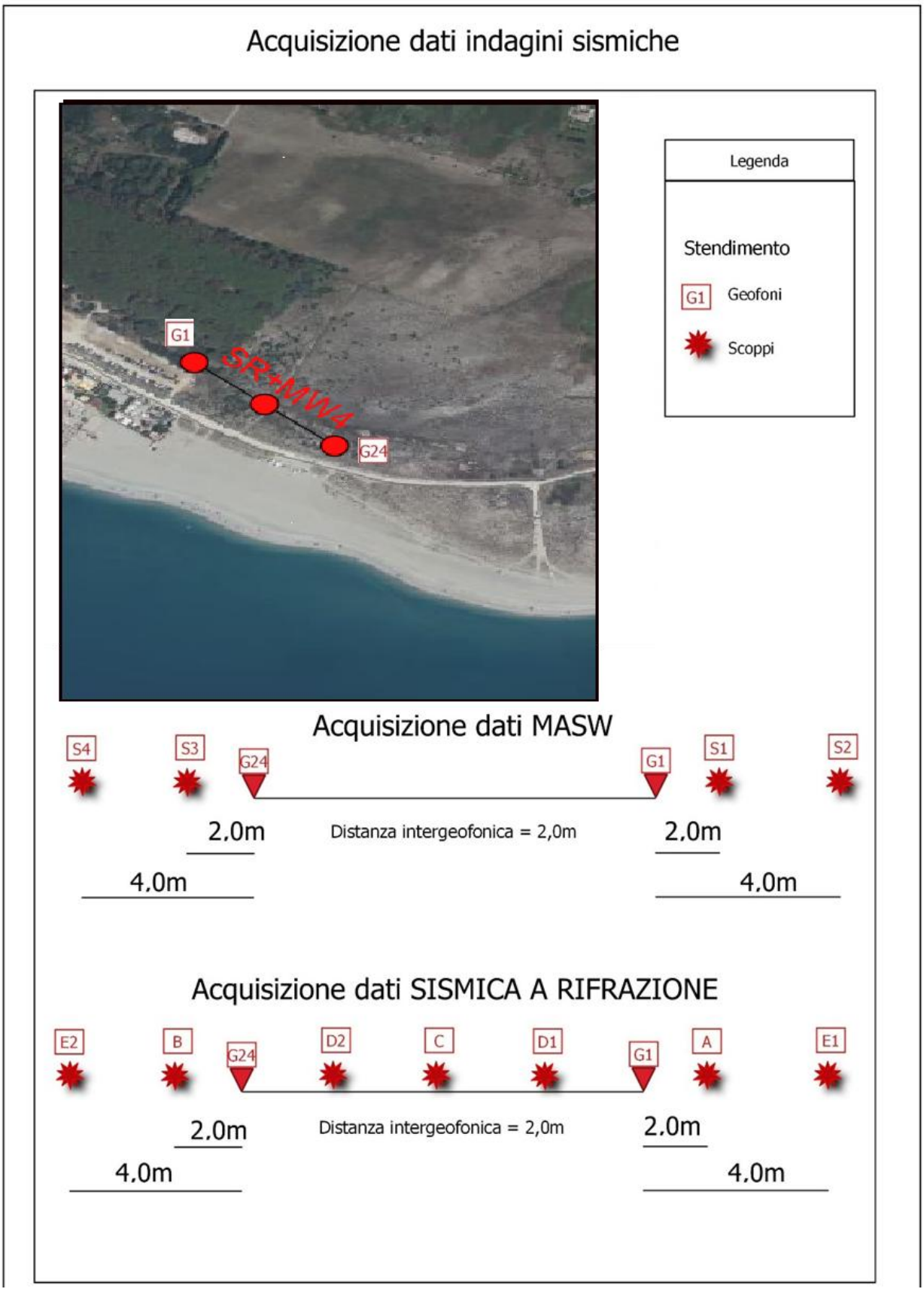


Figura 2-10 - Ubicazione MASW4 e schema di acquisizione dati.

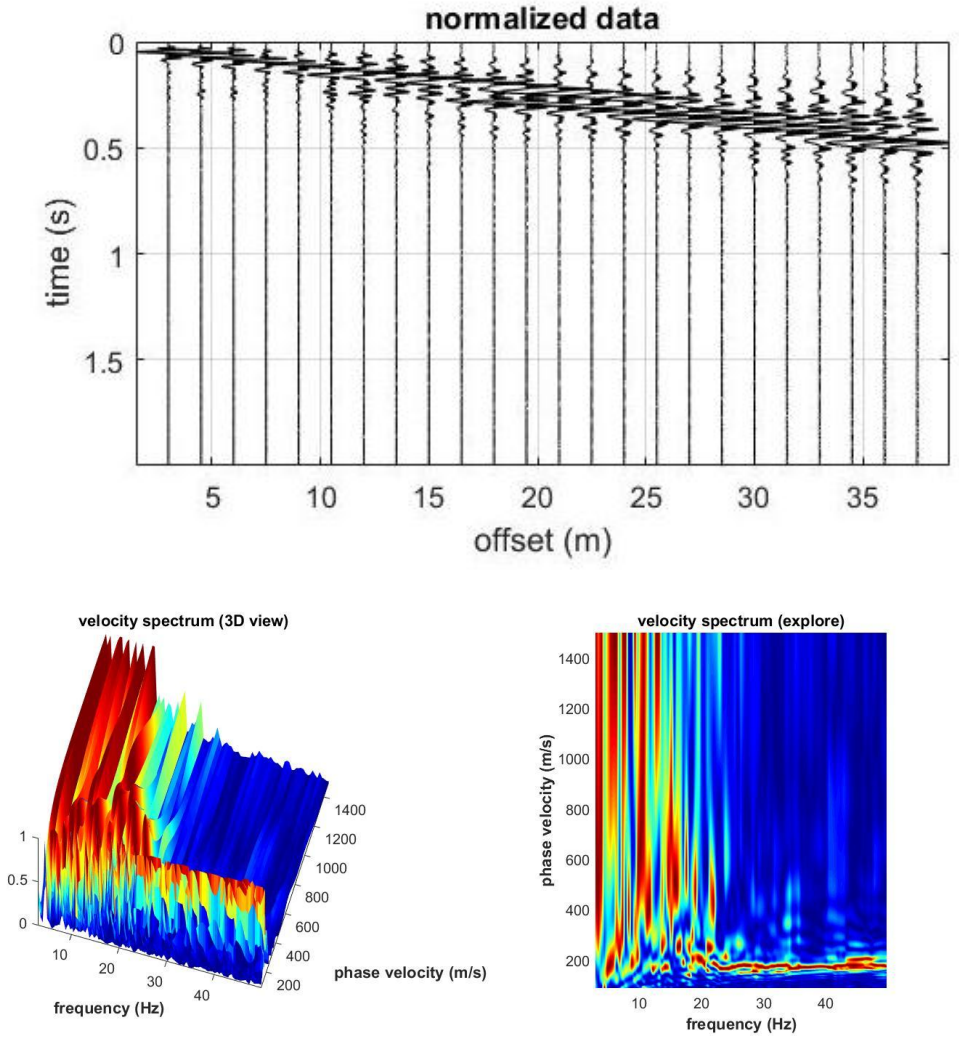


Figura 2-11 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

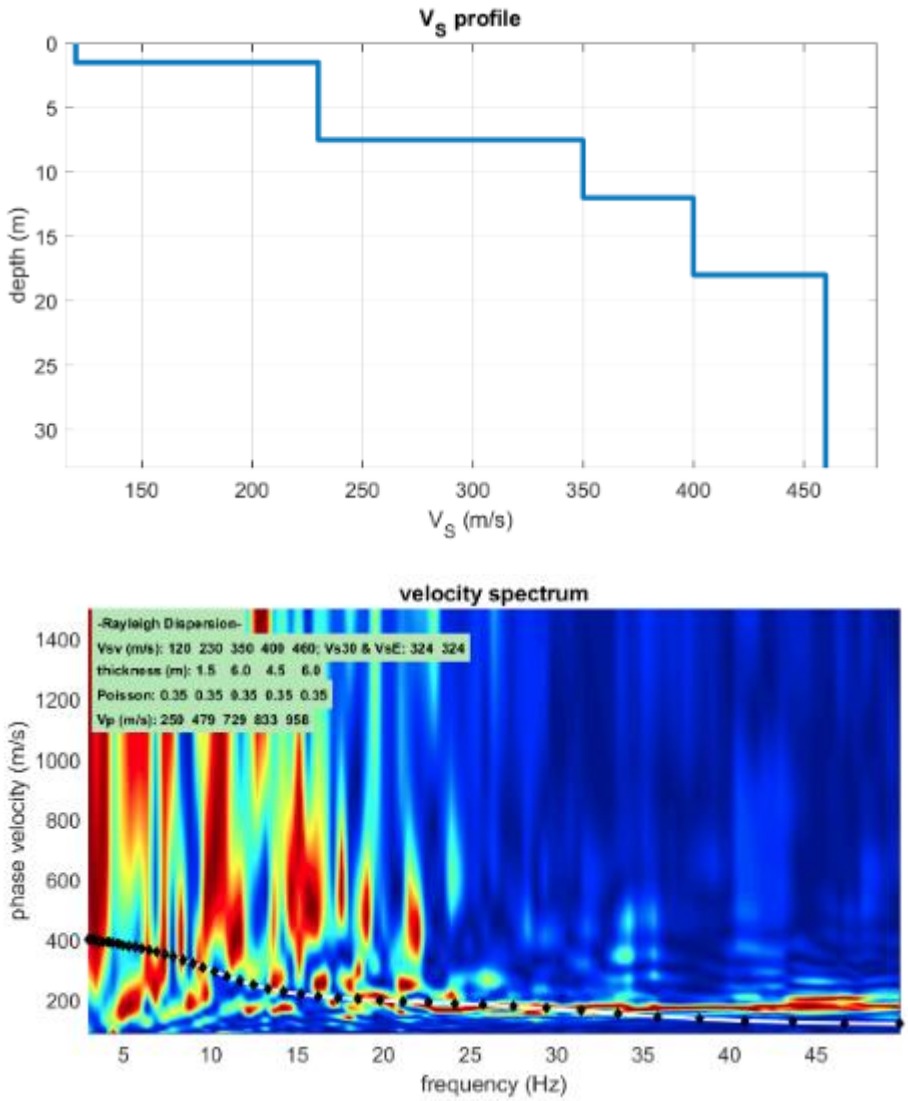


Figura 2-12 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	4,0	1,5	120	250	1,70	25	0,35	2,080
2	10,0	6,0	230	480	1.80	100	0,34	2,080
3	16,0	4,5	350	730	1,90	240	0,34	2,080
4	23,0	6,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	460	960	2,00	430	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 324								

Tabella 2-4 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.5 MASW5

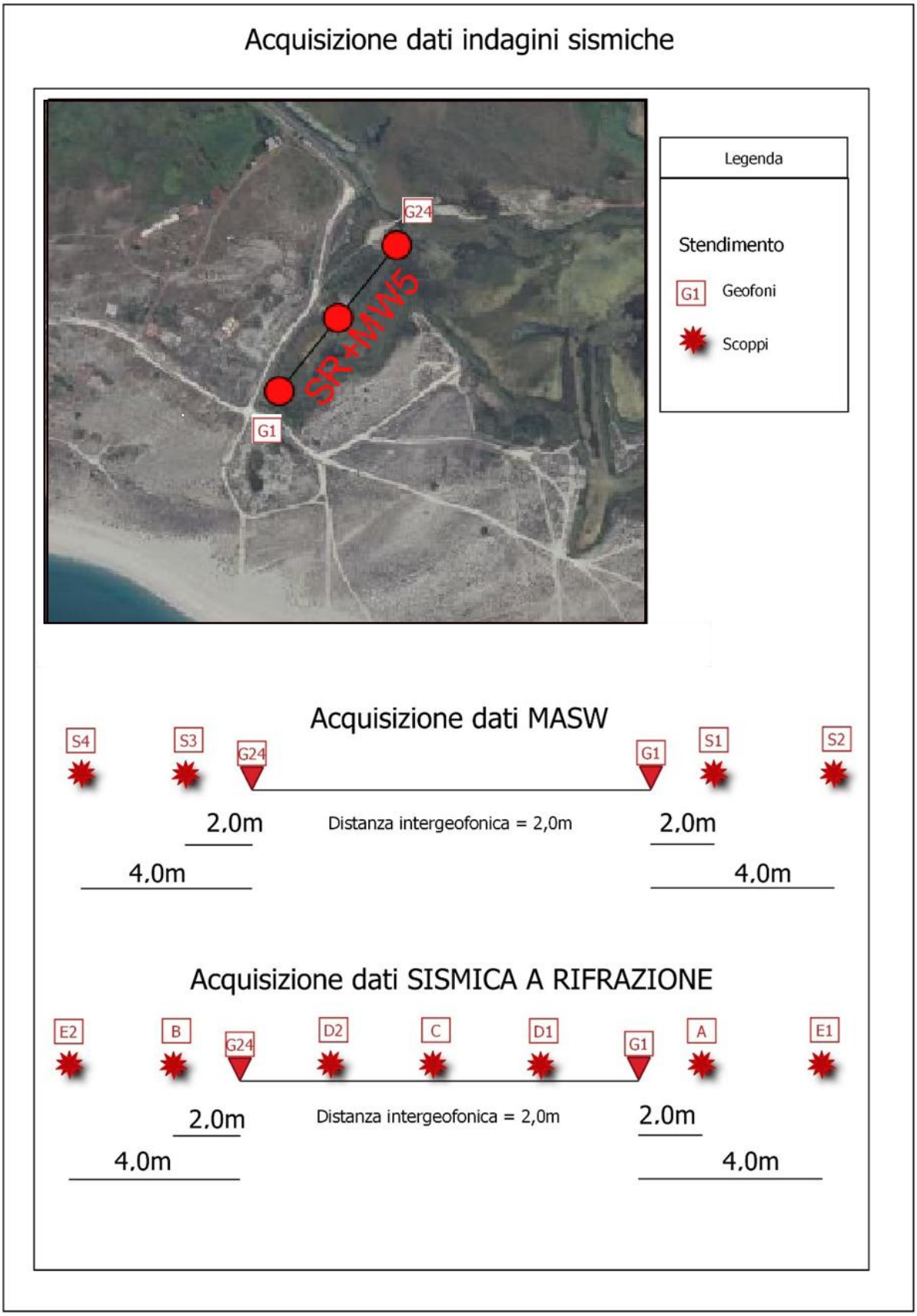


Figura 2-13 - Ubicazione MASW5 e schema di acquisizione dati.

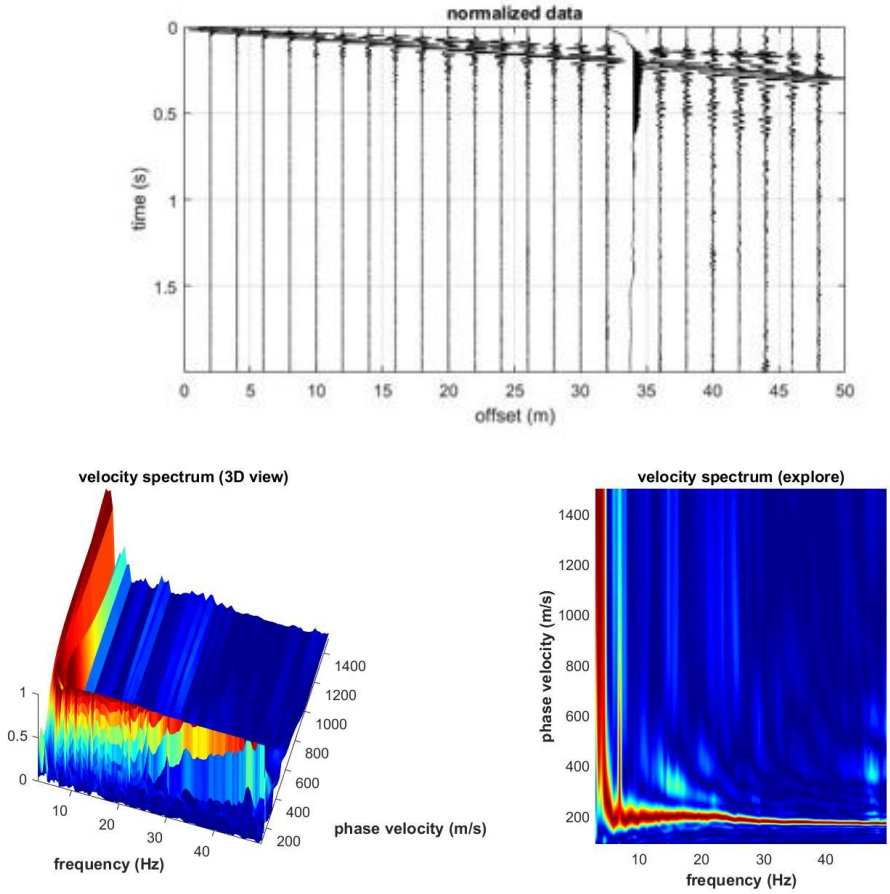


Figura 2-14 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

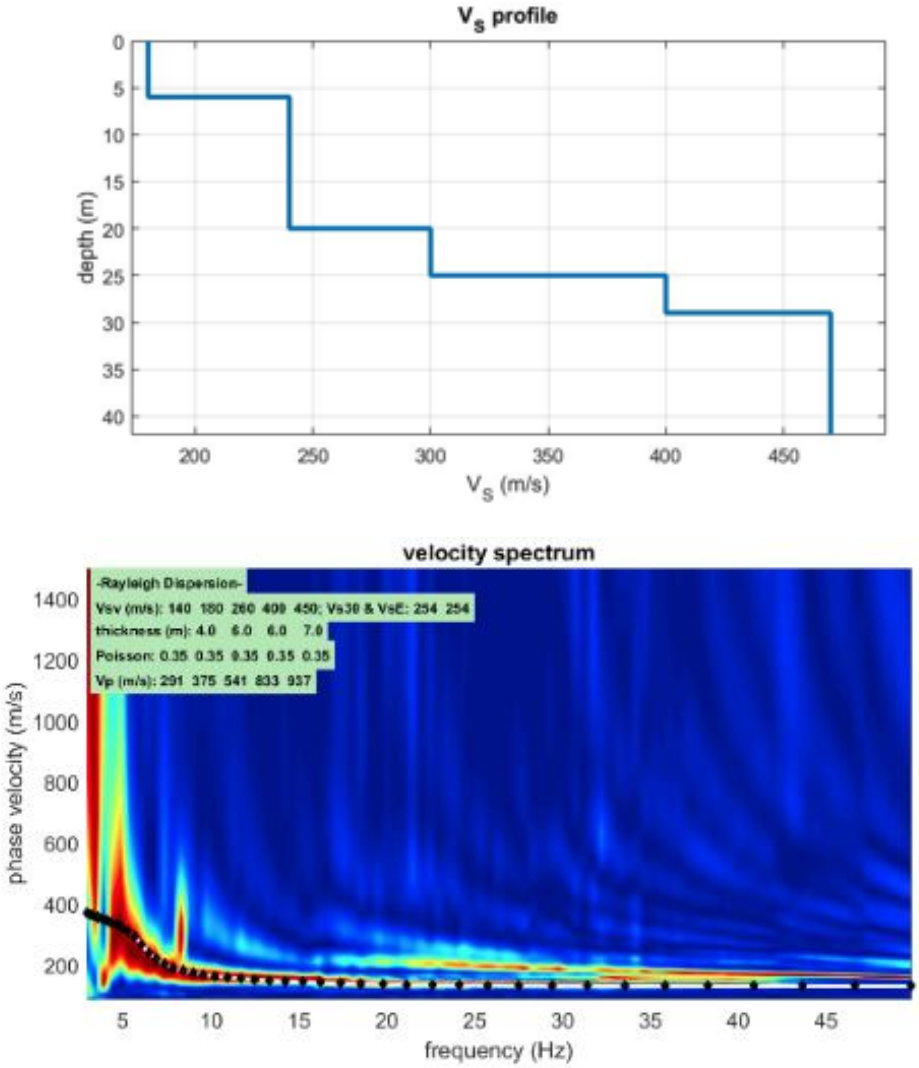


Figura 2-15 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6,0	180	375	1,70	60	0,35	2,080
2	20,0	14,0	240	500	1.80	110	0,34	2,080
3	25,0	5,0	300	620	1,90	175	0,34	2,080
4	29,0	4,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	470	980	2,00	450	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 250								

Tabella 2-5 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.6 MASW6

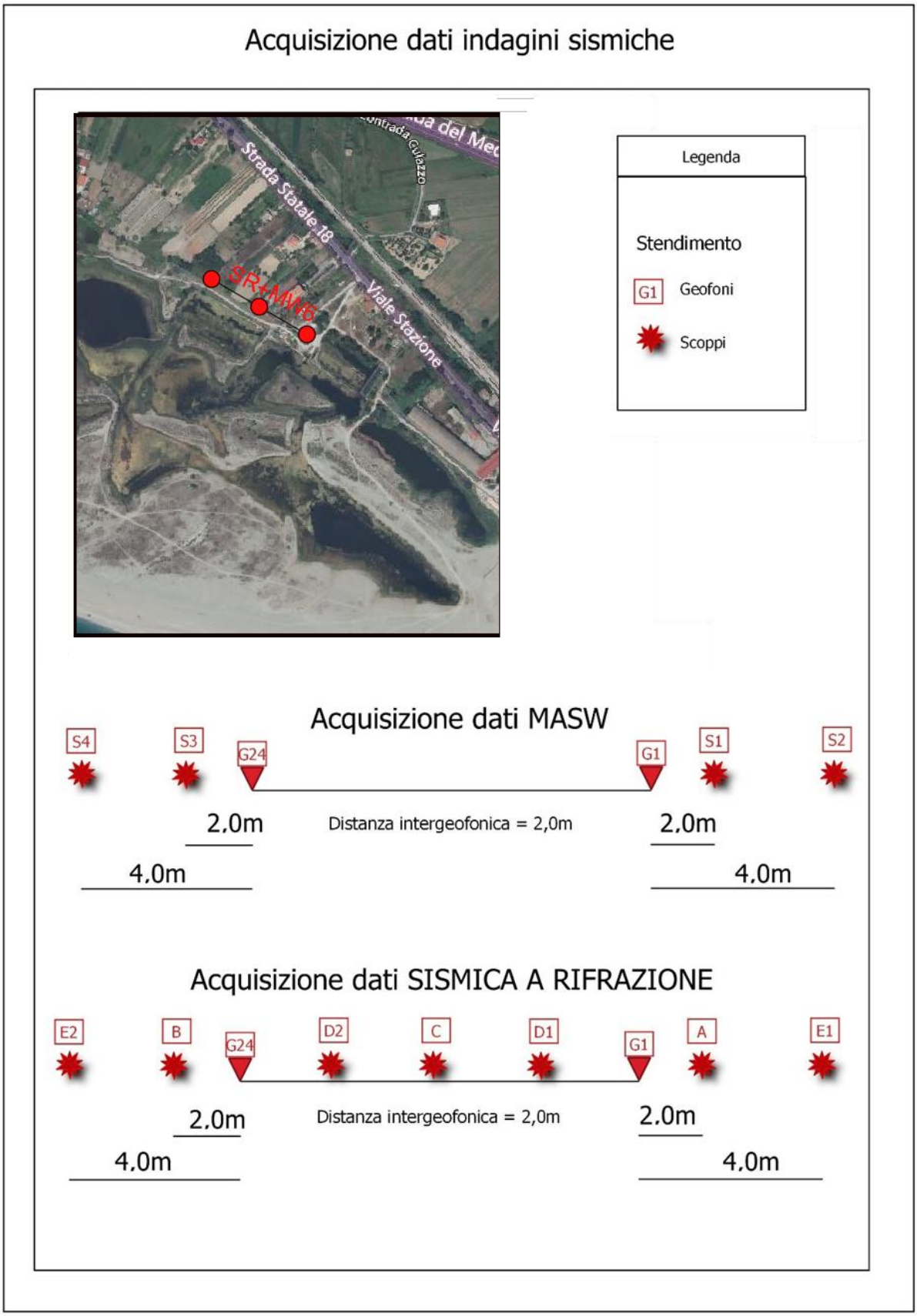


Figura 2-16 - Ubicazione MASW6 e schema di acquisizione dati.

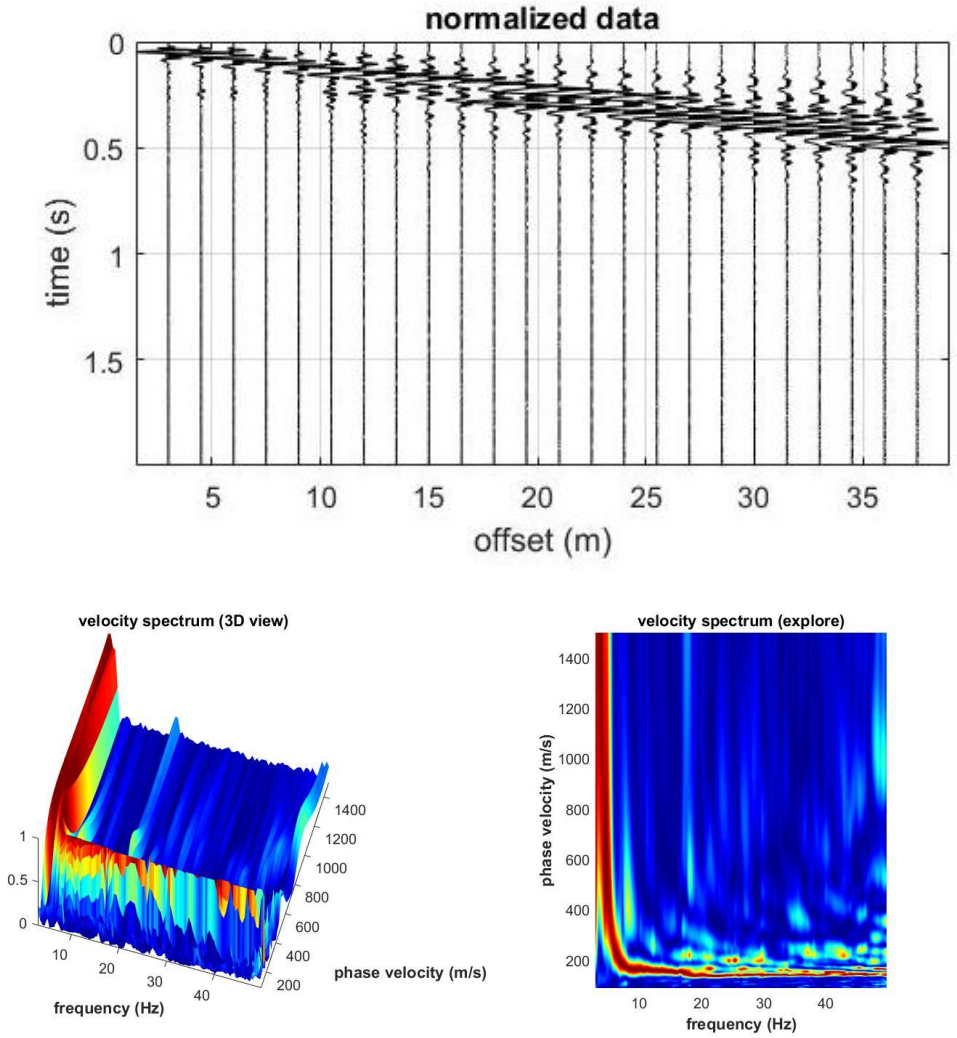


Figura 2-17 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

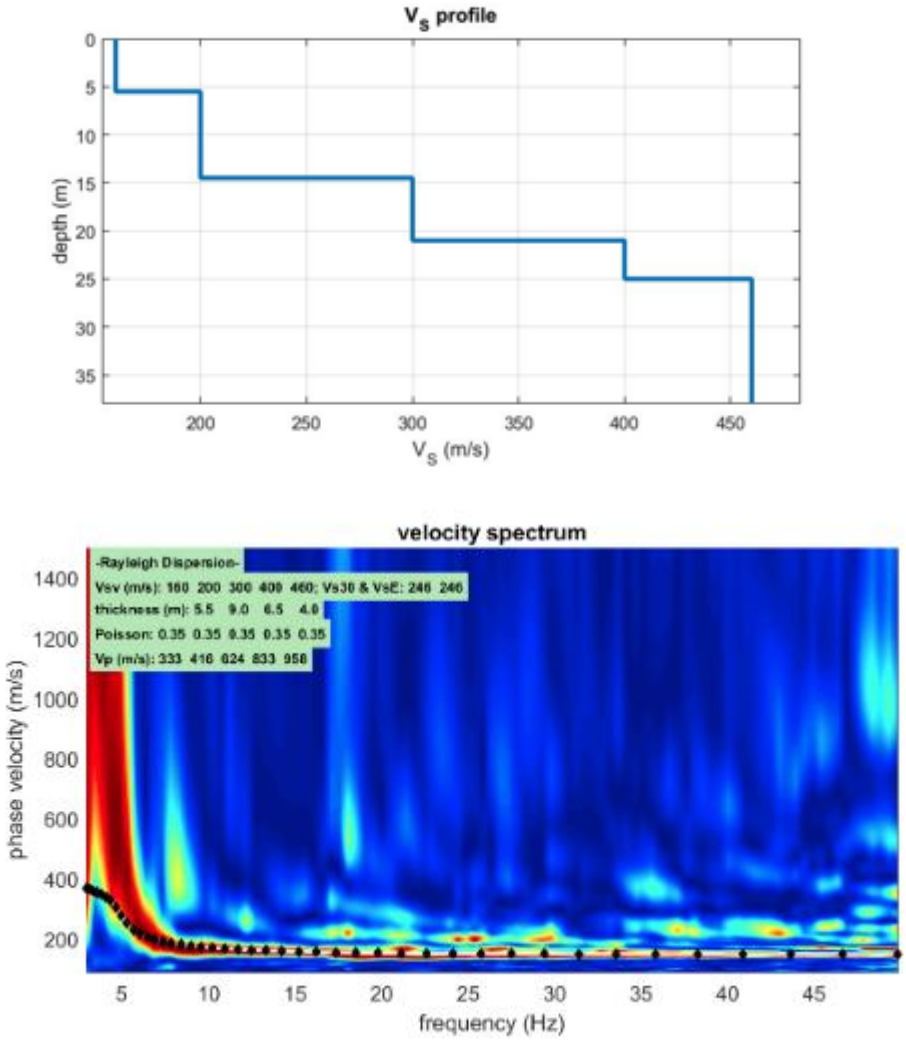


Figura 2-18 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	5,5	5,5	160	330	1,80	50	0,35	2,080
2	14,5	9,0	200	420	1.85	75	0,34	2,080
3	21,0	6,5	310	620	1,95	175	0,34	2,080
4	25,0	4,0	405	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	460	960	2,05	430	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 245								

Tabella 2-6 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.7 MASW7

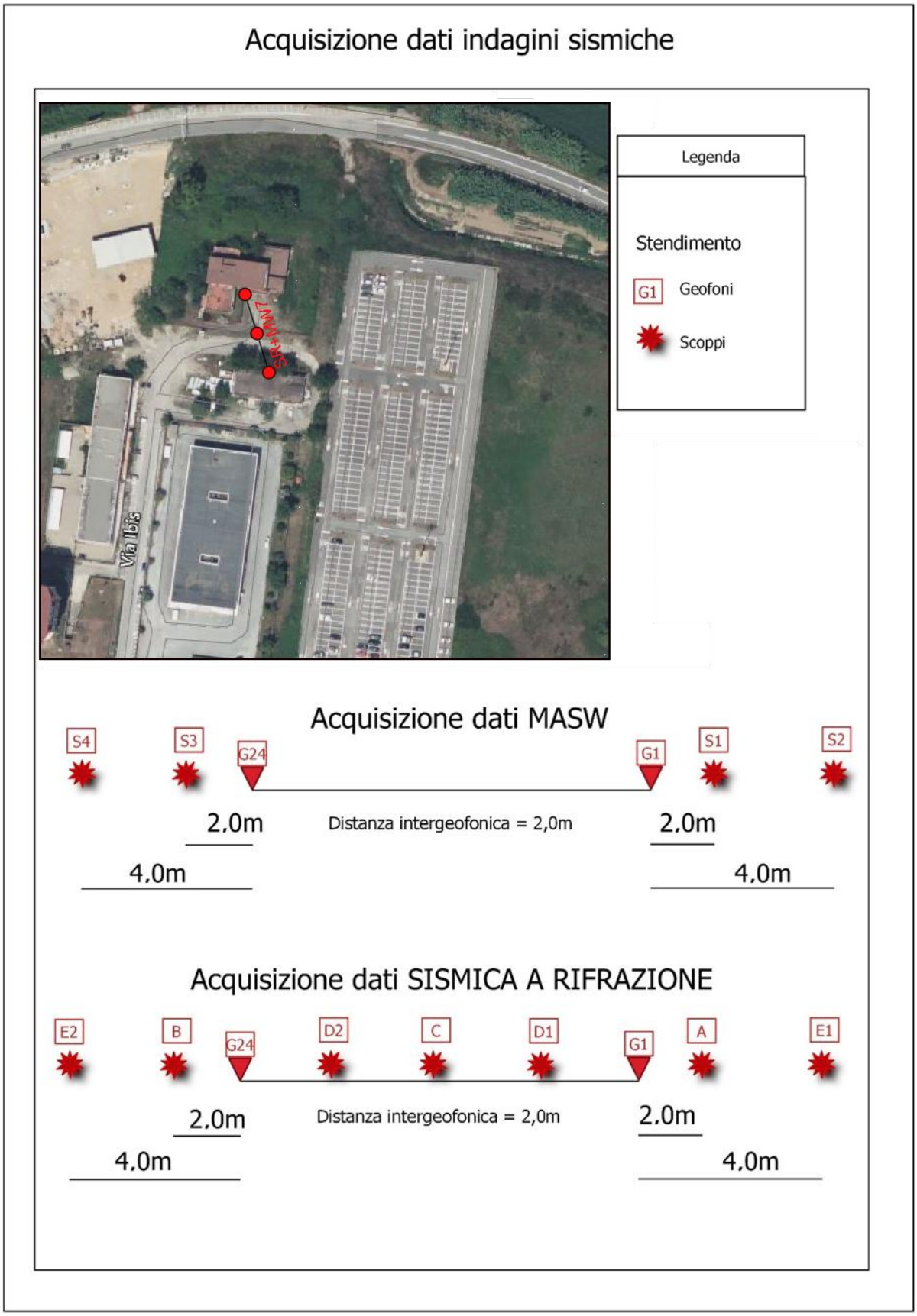


Figura 2-19 - Ubicazione MASW7 e schema di acquisizione dati.

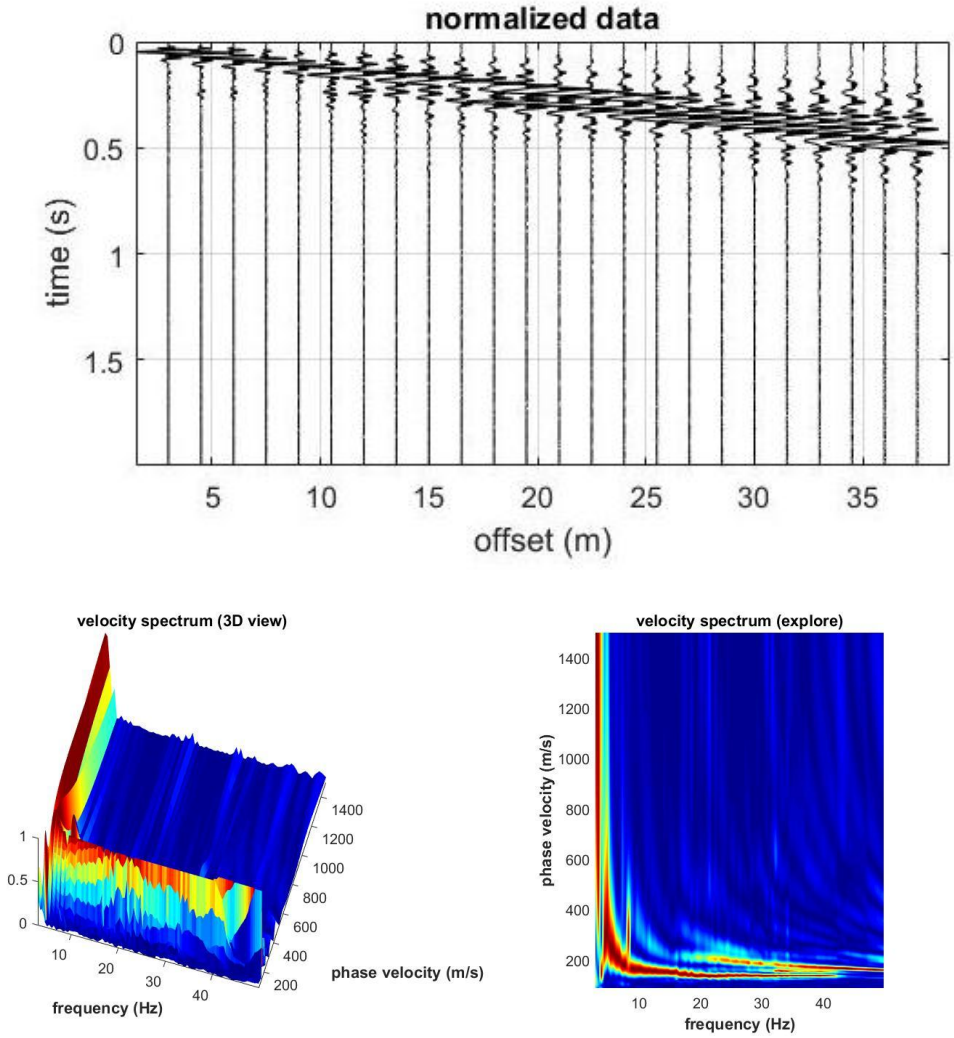
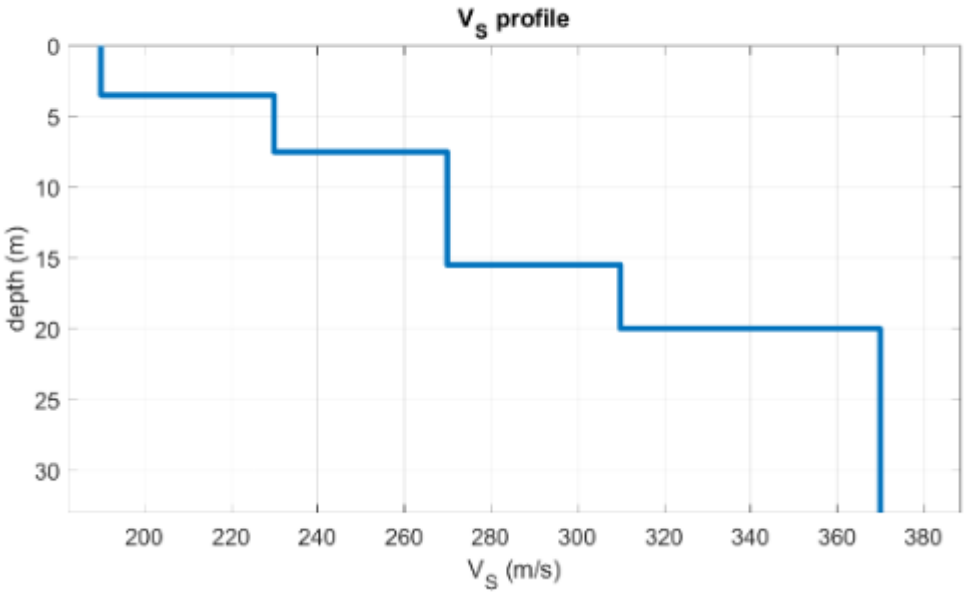


Figura 2-20 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:



3.5

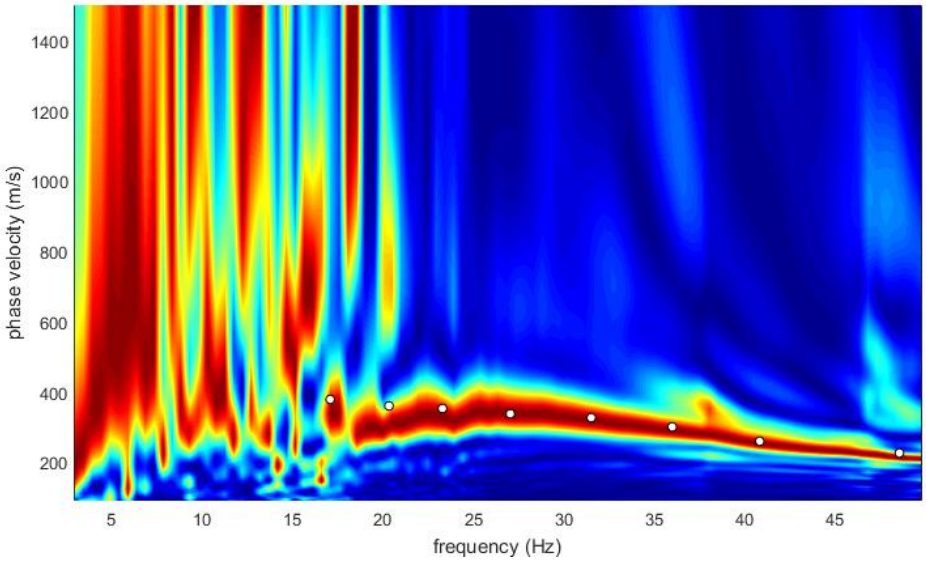


Figura 2-21 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	3,5	3,5	190	375	1,70	60	0,35	2,080
2	7,5	4,0	230	480	1.80	100	0,34	2,080
3	15,5	8,0	270	5260	1,90	140	0,34	2,080
4	20,0	4,5	310	650	2,00	190	0,33	2,080
5	ind	ind	370	770	2,00	270	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 280								

Tabella 2-7 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C****: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.8 MASW8

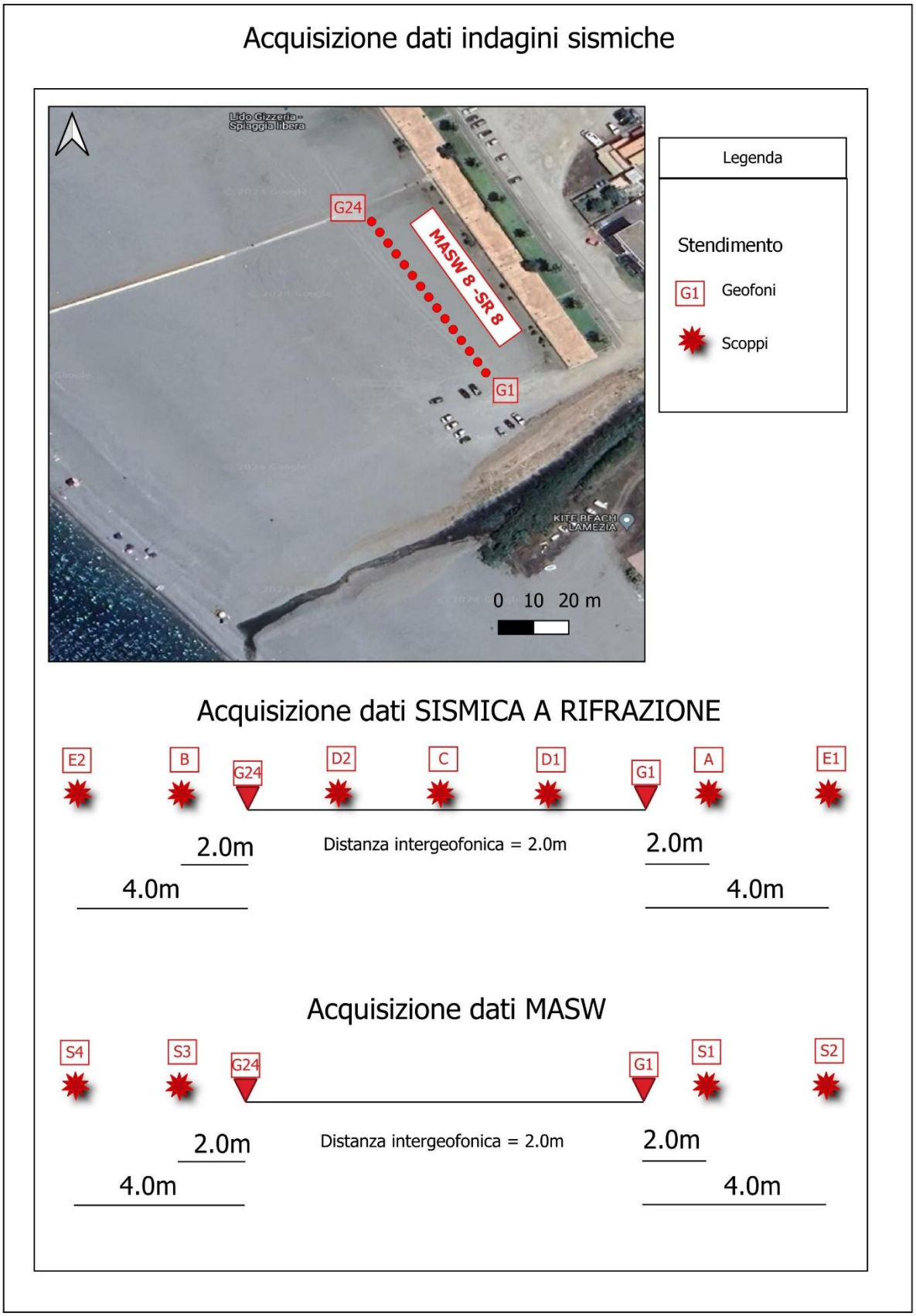


Figura 2-22 - Ubicazione MASW8 e schema di acquisizione dati.

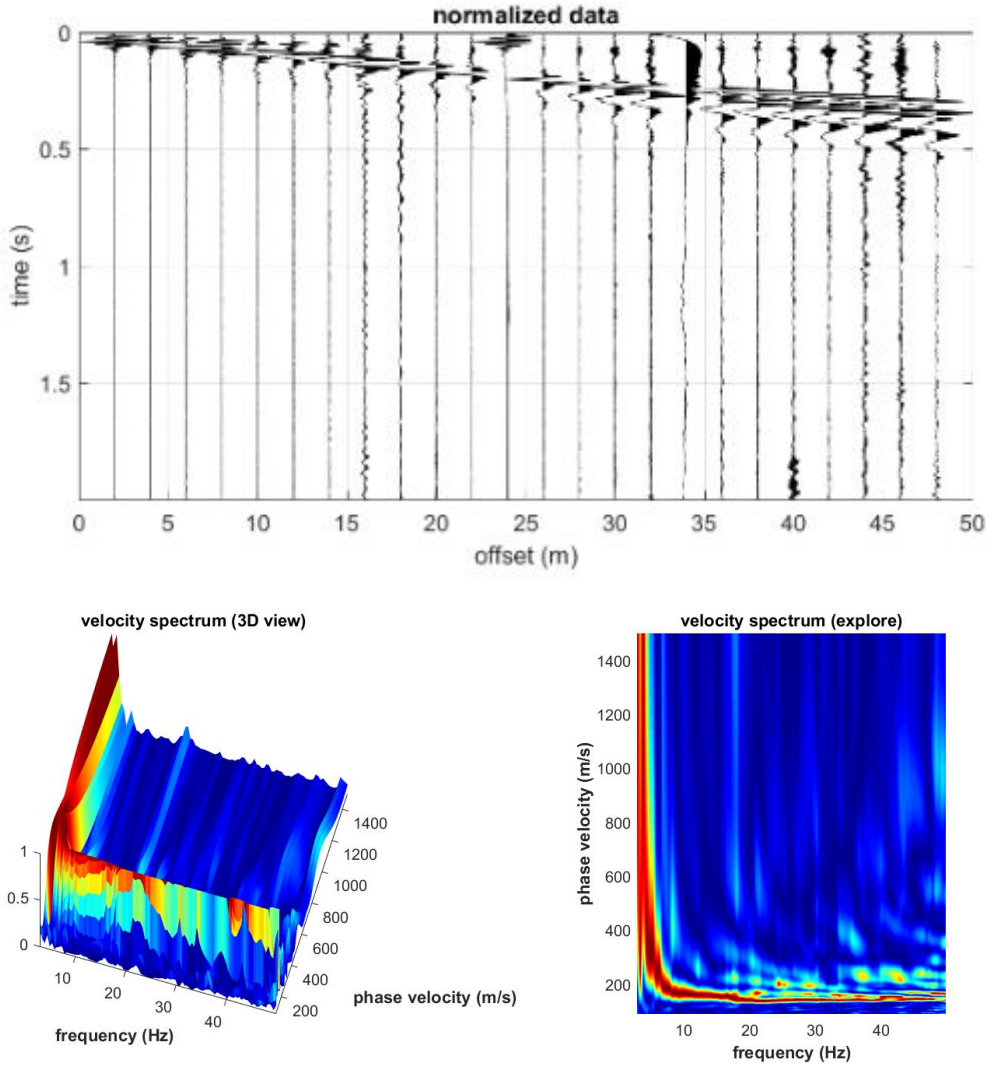
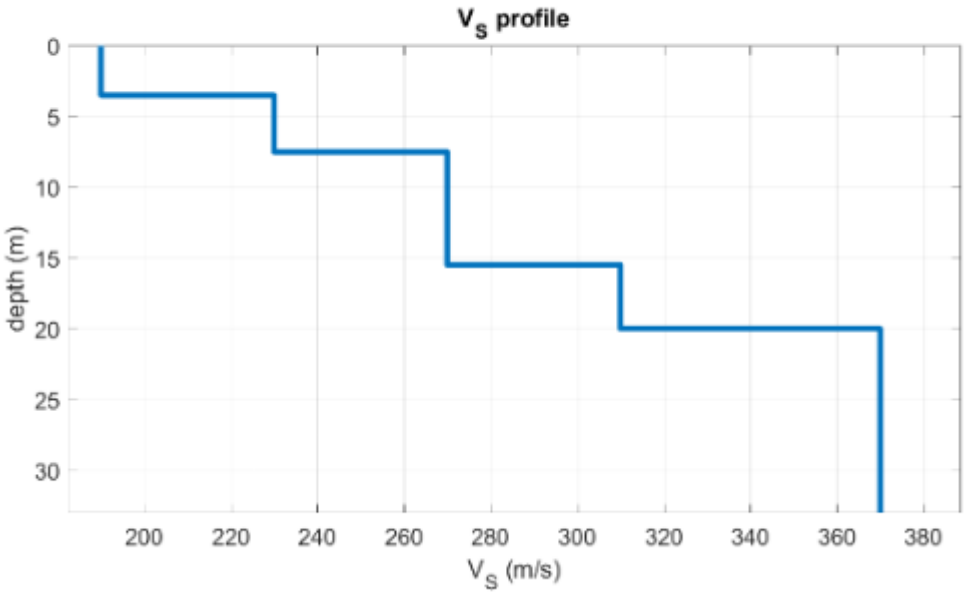


Figura 2-23 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:



3.5

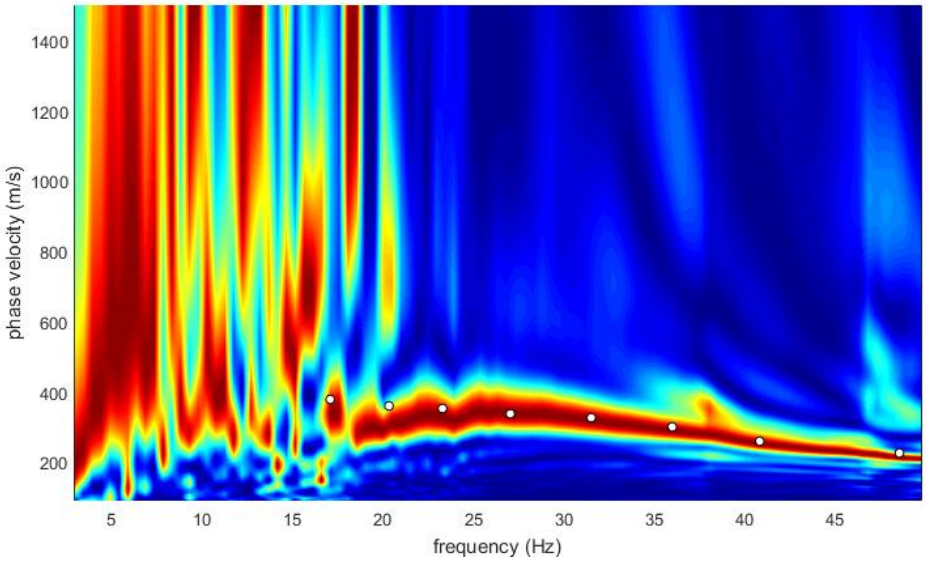


Figura 2-24 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,5	6,5	150	312	1,70	40	0,35	2,080
2	16,5	10,0	230	480	1.80	100	0,34	2,080
3	21,0	4,5	310	650	1,90	180	0,34	2,080
4	28,0	7,0	420	870	2,00	360	0,33	2,080
5	ind	ind	490	1000	2,00	500	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 246								

Tabella 2-8 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C****: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.9 MASW9

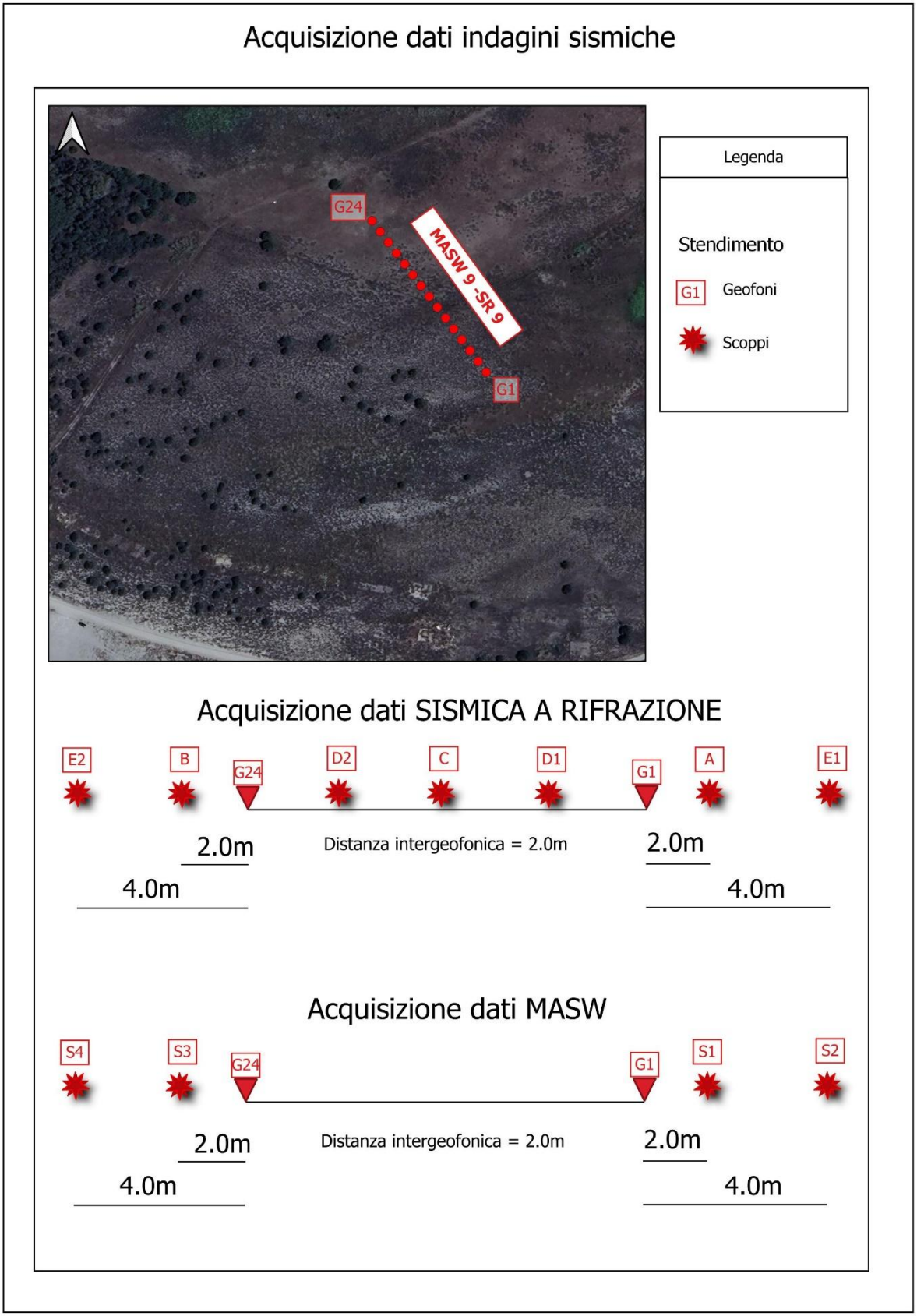


Figura 2-25 - Ubicazione MASW7 e schema di acquisizione dati.

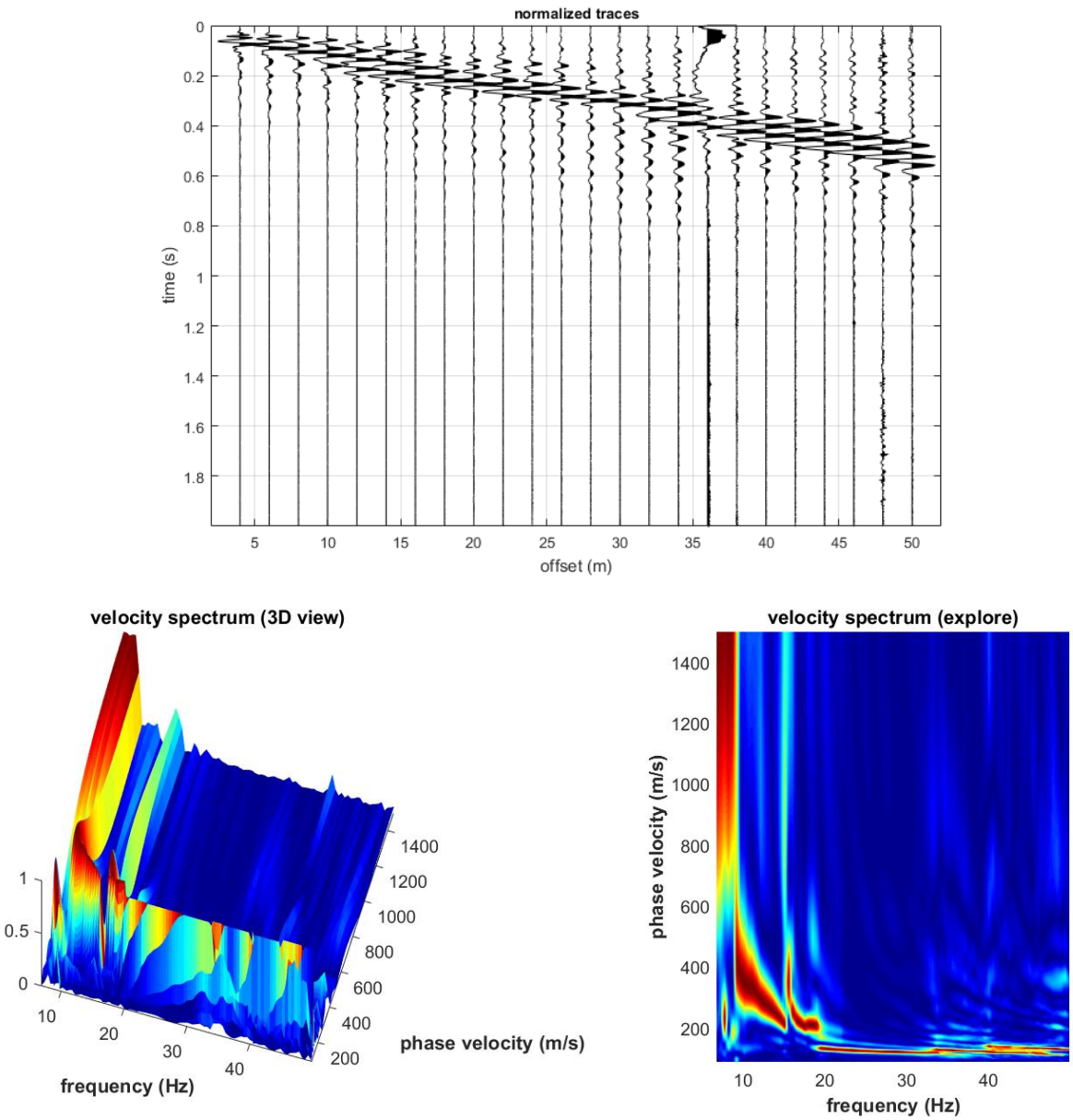
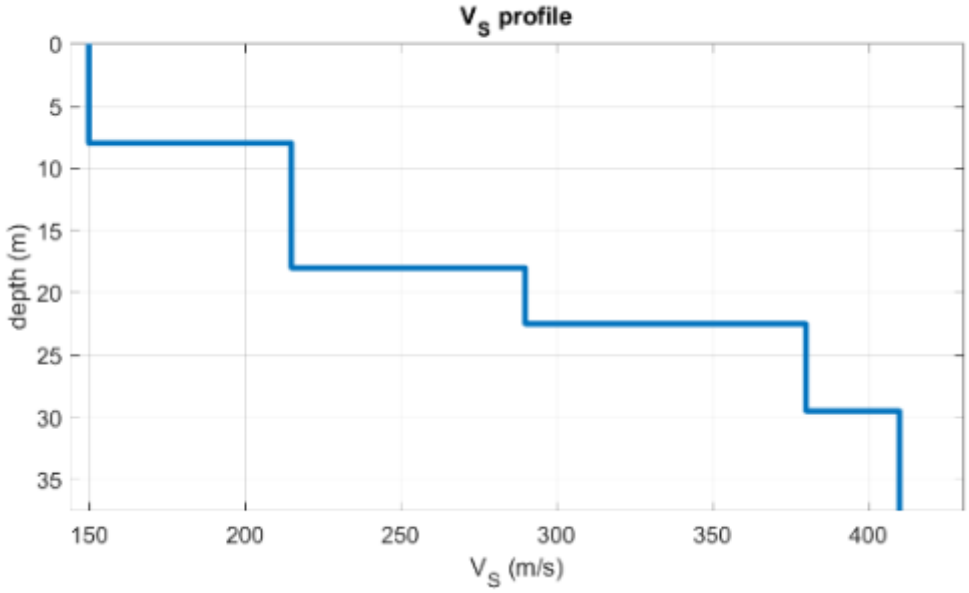


Figura 2-26 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:



3.5

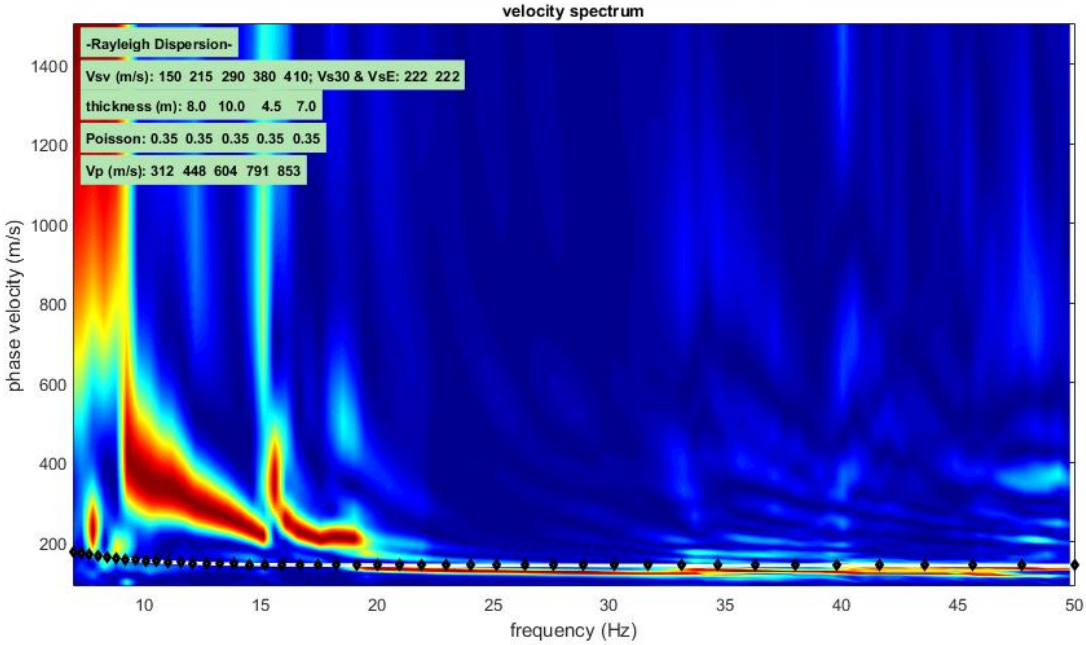


Figura 2-27 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	8,0	8,0	150	310	1,70	60	0,35	2,080
2	18,0	10,0	215	450	1.80	100	0,34	2,080
3	22,5	4,5	290	600	1,90	140	0,34	2,080
4	29,5	7,0	380	800	2,00	190	0,33	2,080
5	ind	ind	410	850	2,00	270	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 222								

Tabella 2-9 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C****: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.10 MASW10

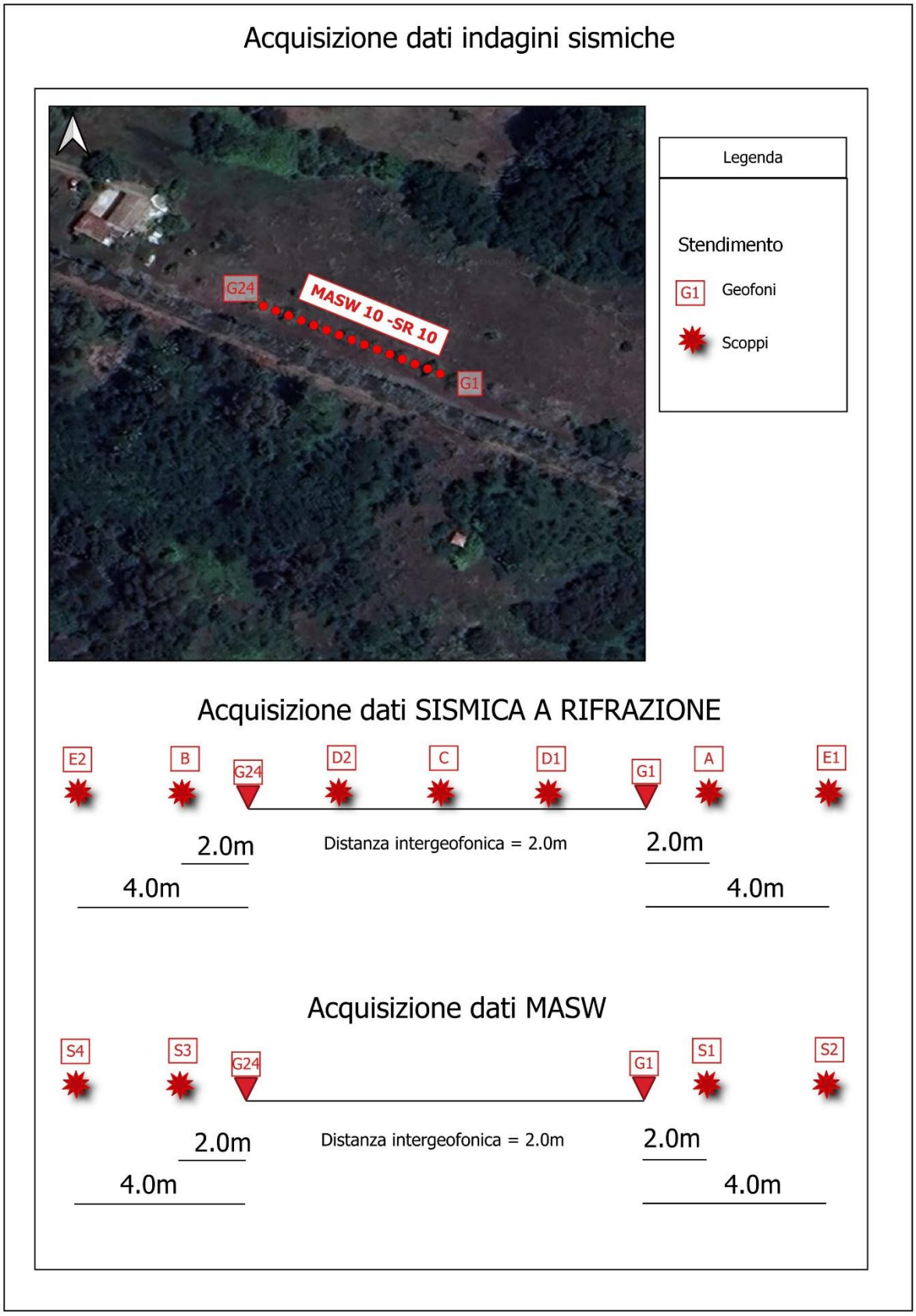


Figura 2-28 - Ubicazione MASW10 e schema di acquisizione dati.

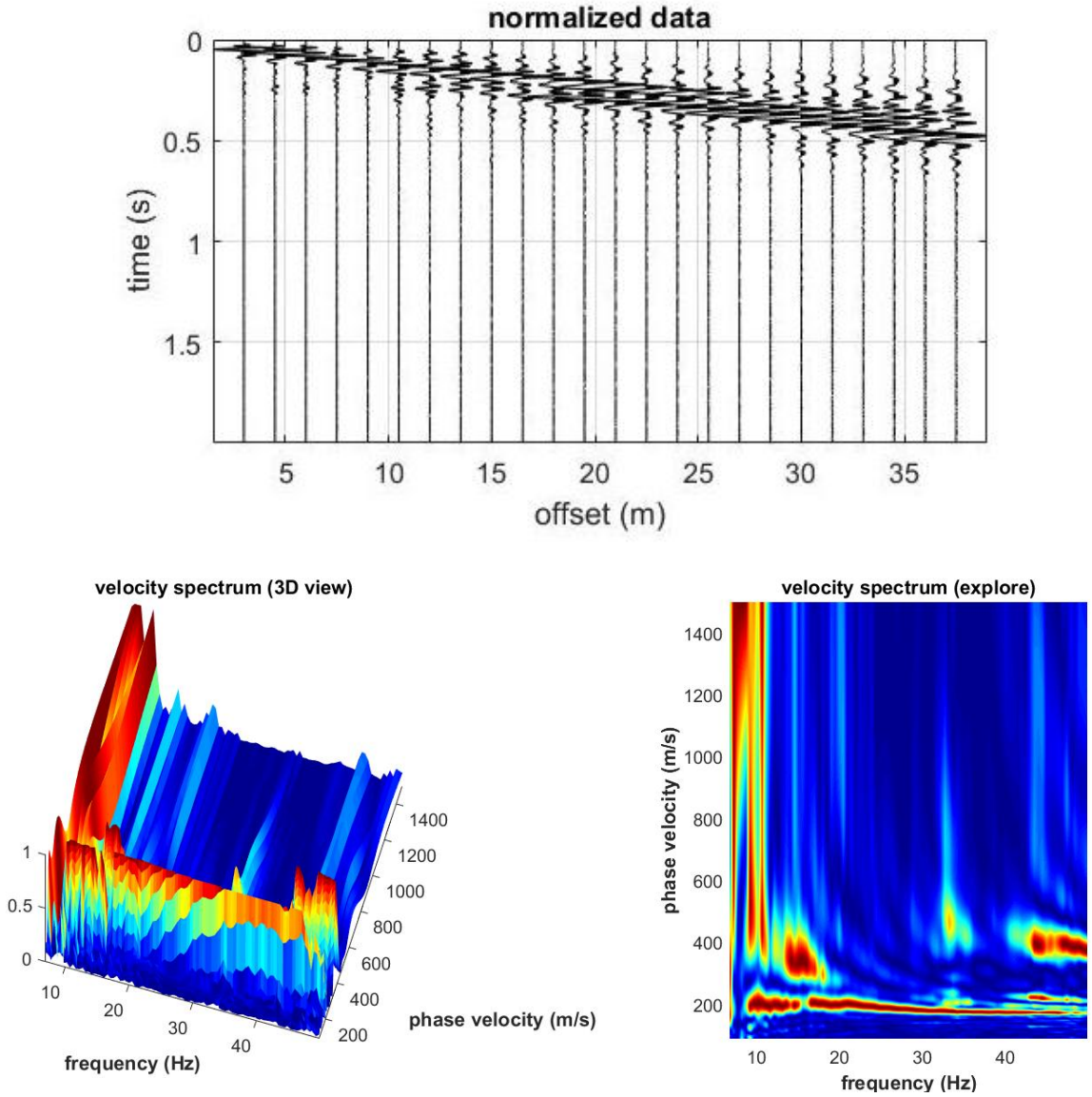
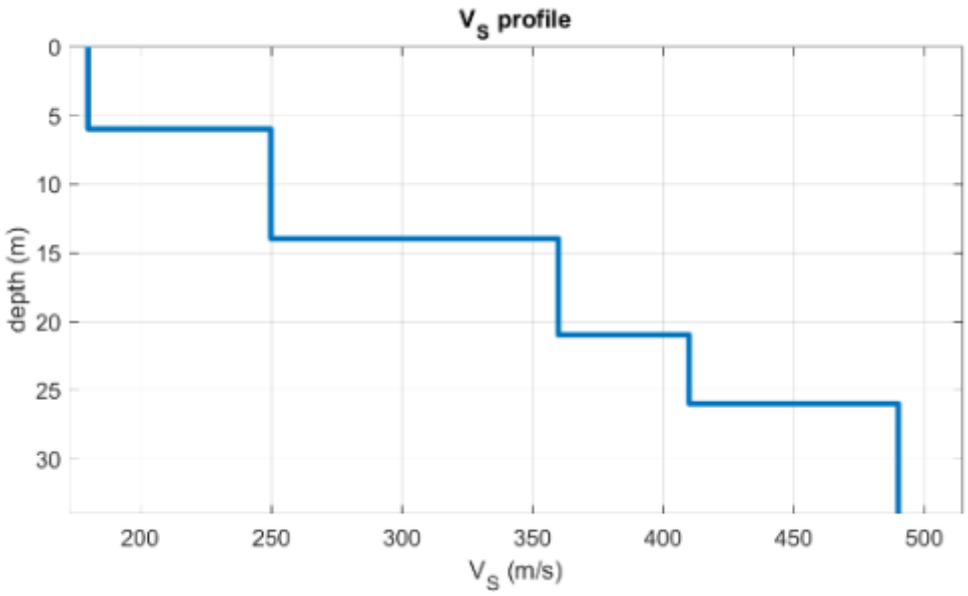


Figura 2-29 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:



3.5

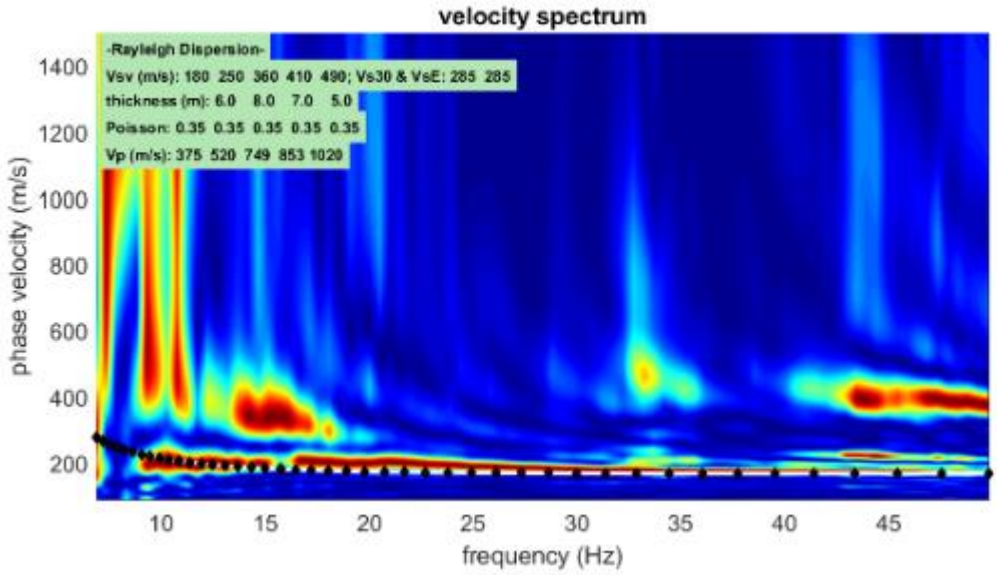


Figura 2-30 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6,0	180	375	1,70	60	0,35	2,080
2	14,0	8,0	250	520	1.80	120	0,34	2,080
3	21,0	7,0	360	750	1,90	250	0,34	2,080
4	26,0	5,0	410	850	2,00	340	0,33	2,080
5	ind	ind	490	1000	2,00	500	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 285								

Tabella 2-10 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ ***Cat C****: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

2.2.11 MASW11

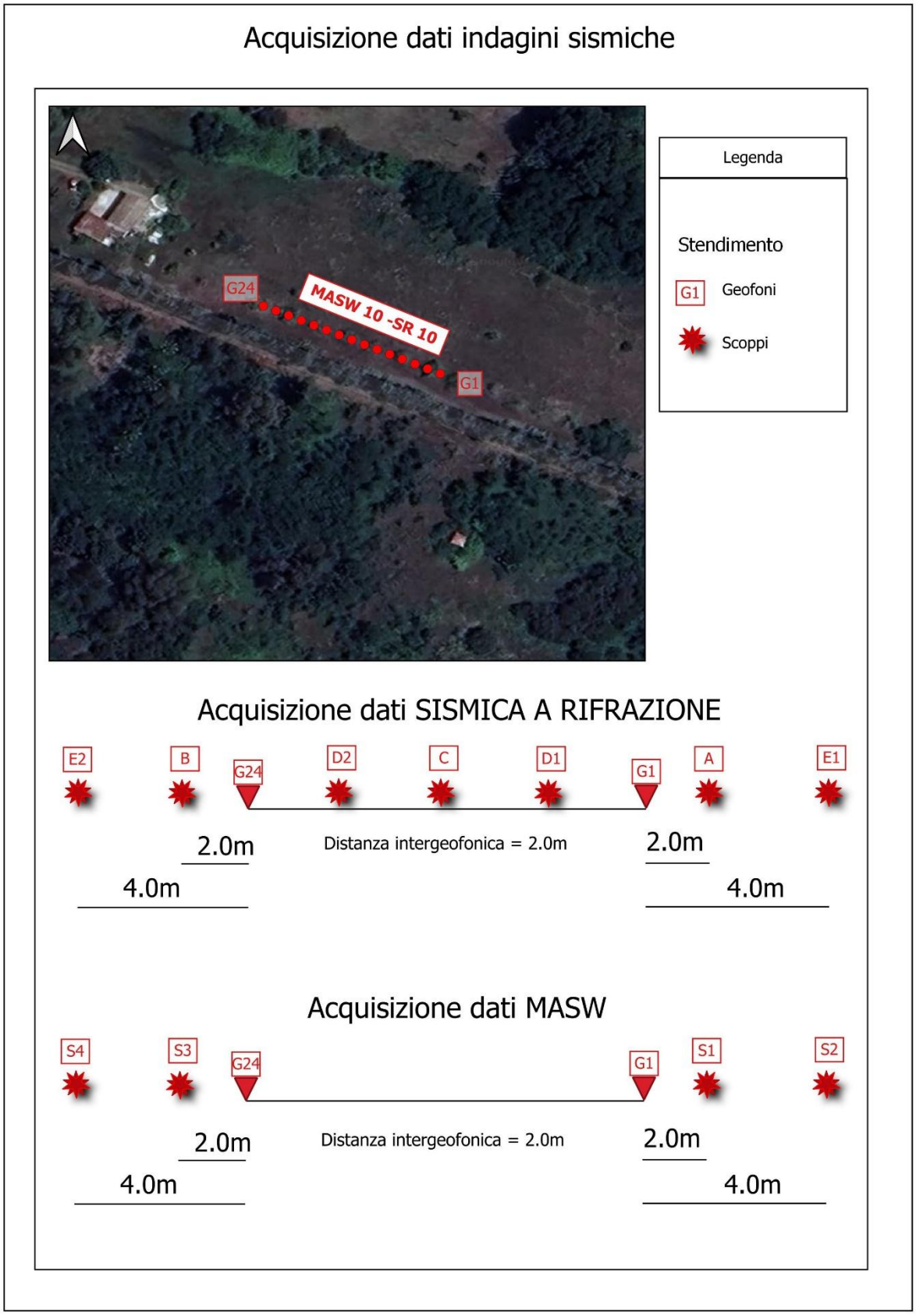


Figura 2-31 - Ubicazione MASW11 e schema di acquisizione dati.

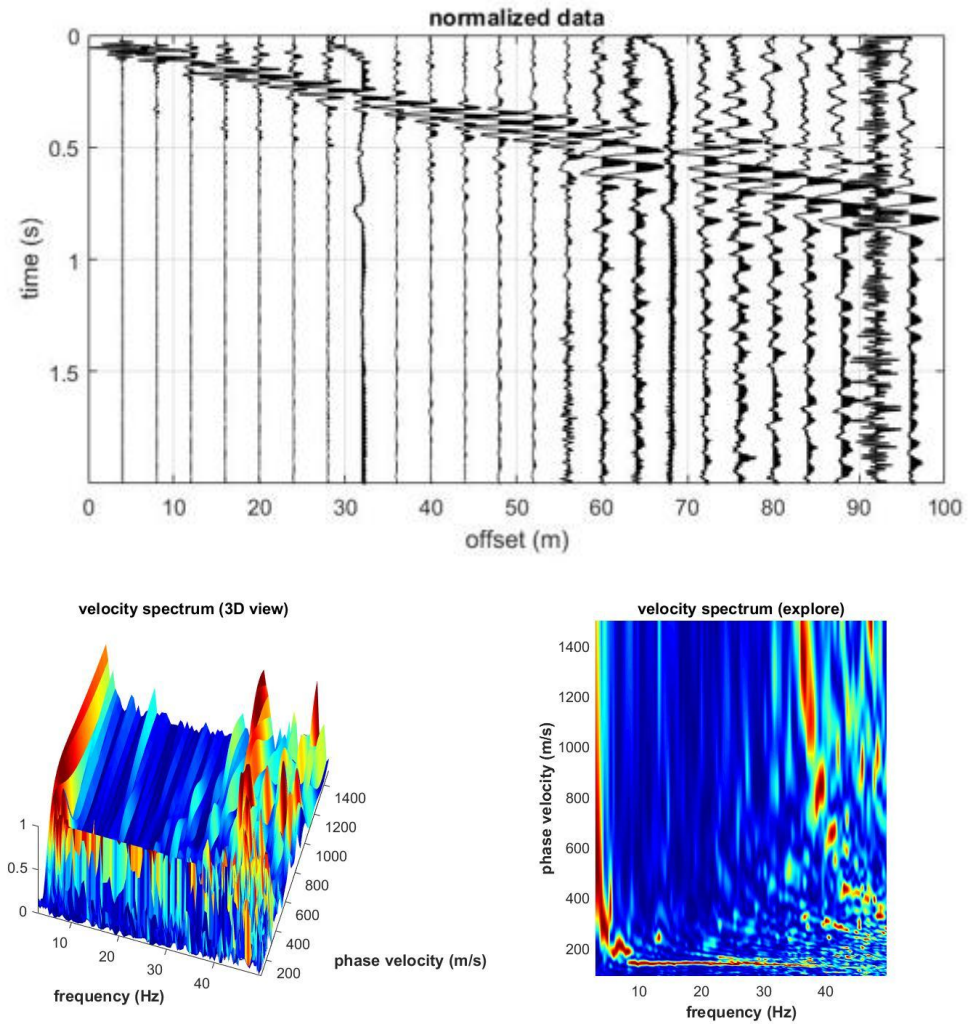


Figura 2-32 - Analisi del segnale nel dominio delle frequenze/velocità di fase e frequenza/numero d'onda

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

3.5

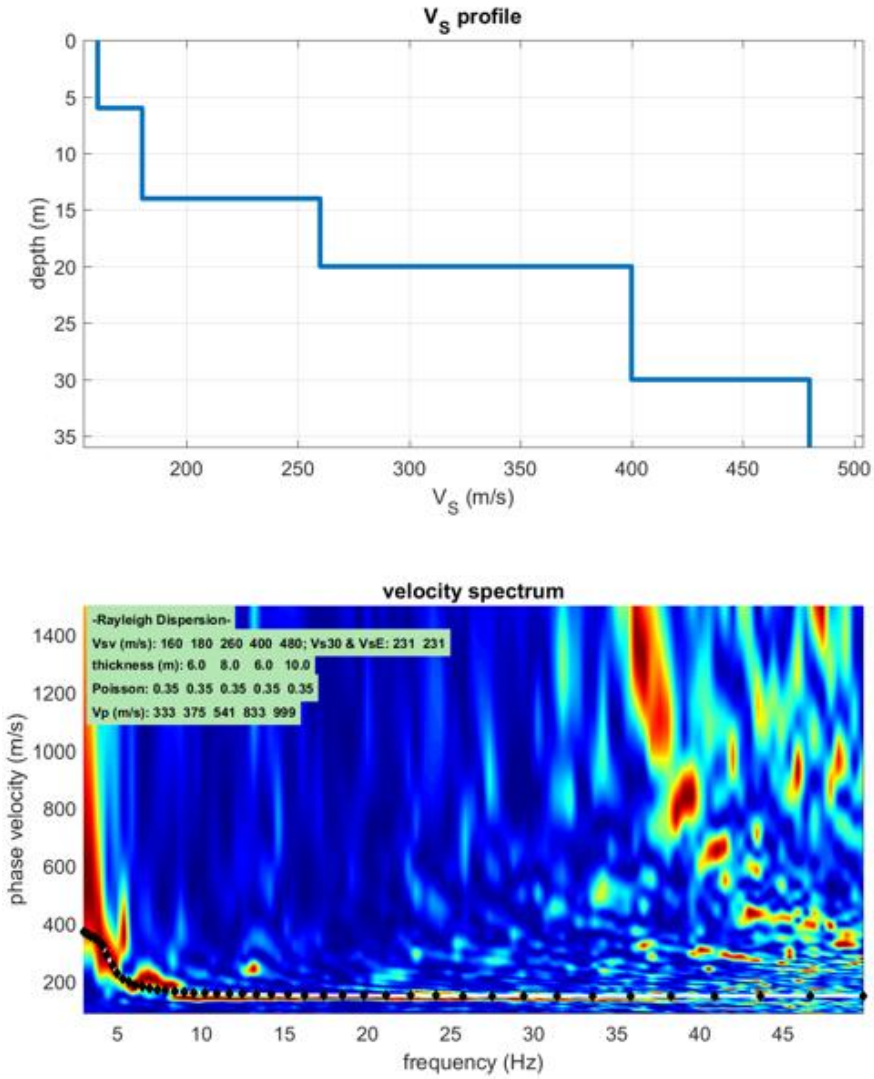


Figura 2-33 -: Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6,0	160	333	1,79	46	0,35	2,080
2	14,0	8,0	180	375	1.82	59	0,35	2,080
3	20,0	6,0	260	541	1,91	129	0,35	2,080
4	30,0	10,0	400	833	2,01	322	0,35	2,080
5	ind	ind	480	999	2,05	473	0,35	2,080
Valore Vseq [m/s] = 231								

Tabella 2-11 – Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle VS

La categoria topografica risulta essere "T1"

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

***Cat C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

3 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spaziati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp) o trasversali (Vs) dei mezzi attraversati ed il loro spessore. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/odi fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica. Il metodo

sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- ✓ un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde sismiche in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- ✓ un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- ✓ un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- ✓ aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il software RAYFRACT prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo. Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SMART TOMO) l'immagine della sezione tomografica.

3.1 SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo P.A.S.I. modello GEA24, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali (Re.Mi. – RefractionMicrotremor) – M.A.S.W.(Multichannel Analysis of SurfaceWaves) – S.A.S.W. (Spectral Analysis of SurfaceWaves).

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale.

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e

dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni cliccando gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.
La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di 8kg) che batte su una piastra di alluminio. Il martello funge contemporaneamente da starter poiché collegato a mezzo di trigger al sismografo. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate utilizzando 24 geofoni a componente verticale con una frequenza di risonanza pari a 10 Hz.

3.2 RISULTATI OTTENUTI

3.2.1 TS 1

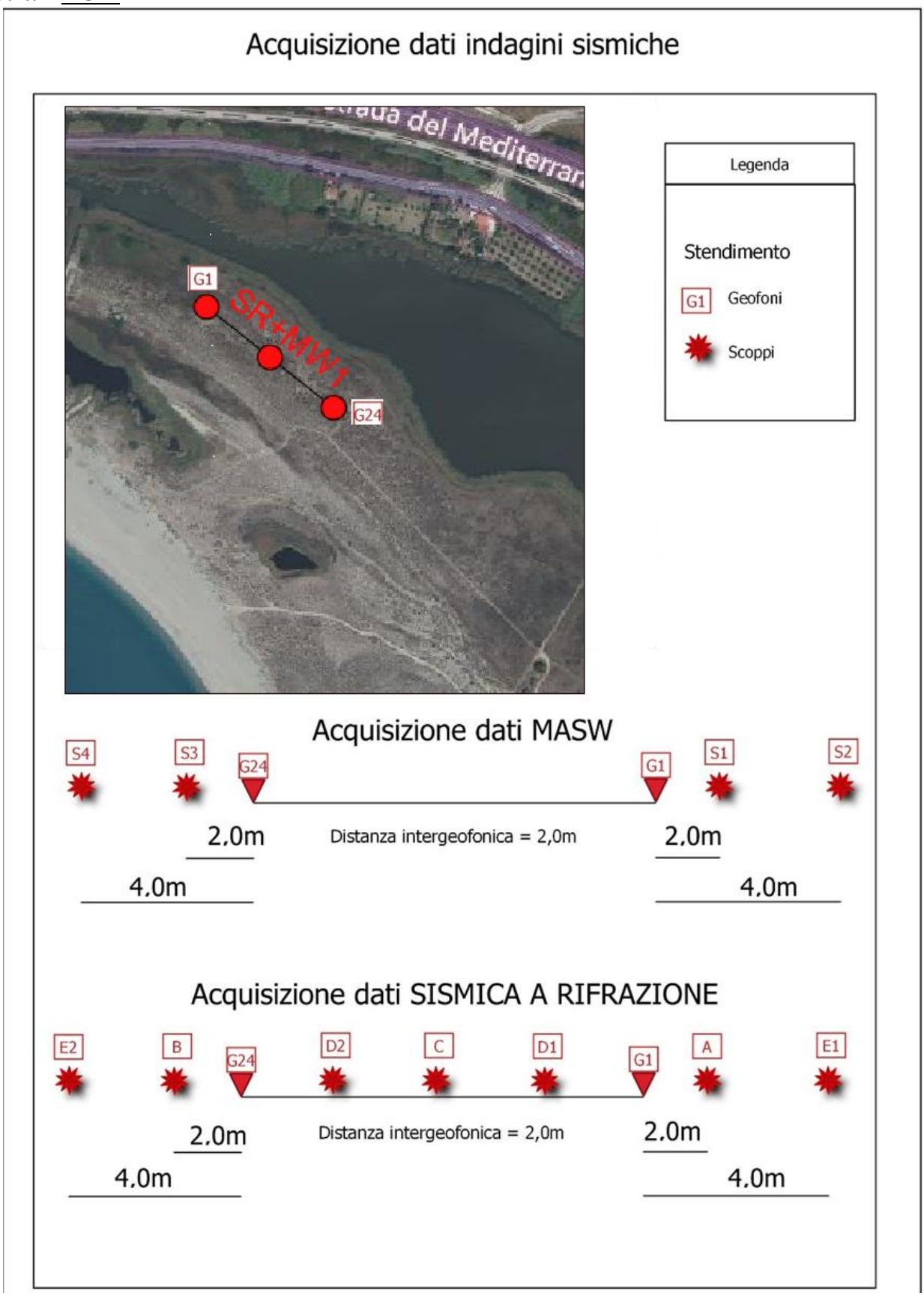


Figura 3-1 – Ubicazione TS 1 e schema di acquisizione dati.

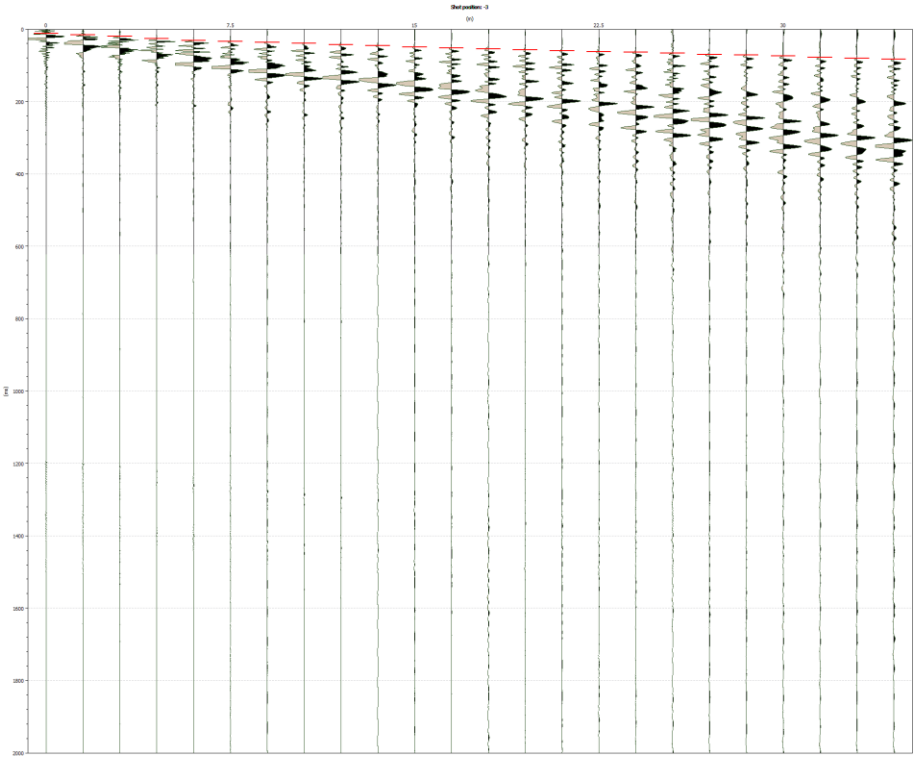
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

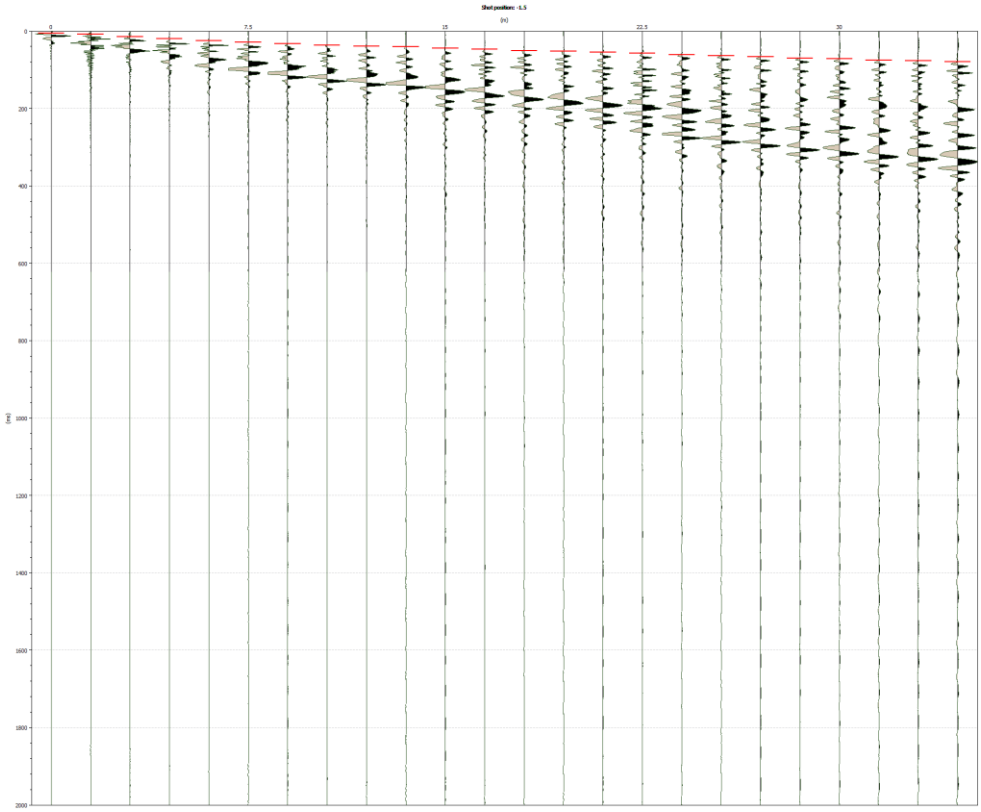
Tabella 3-1 – Posizione degli scoppi TS1

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

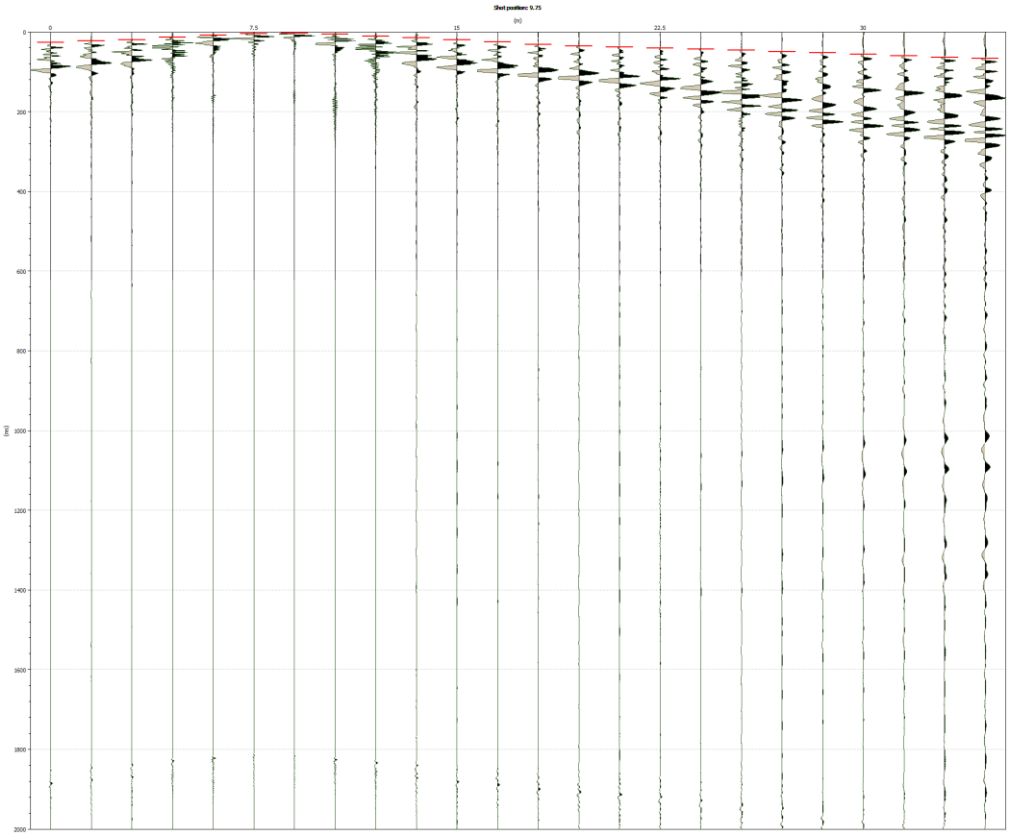
SCOPPIO E1



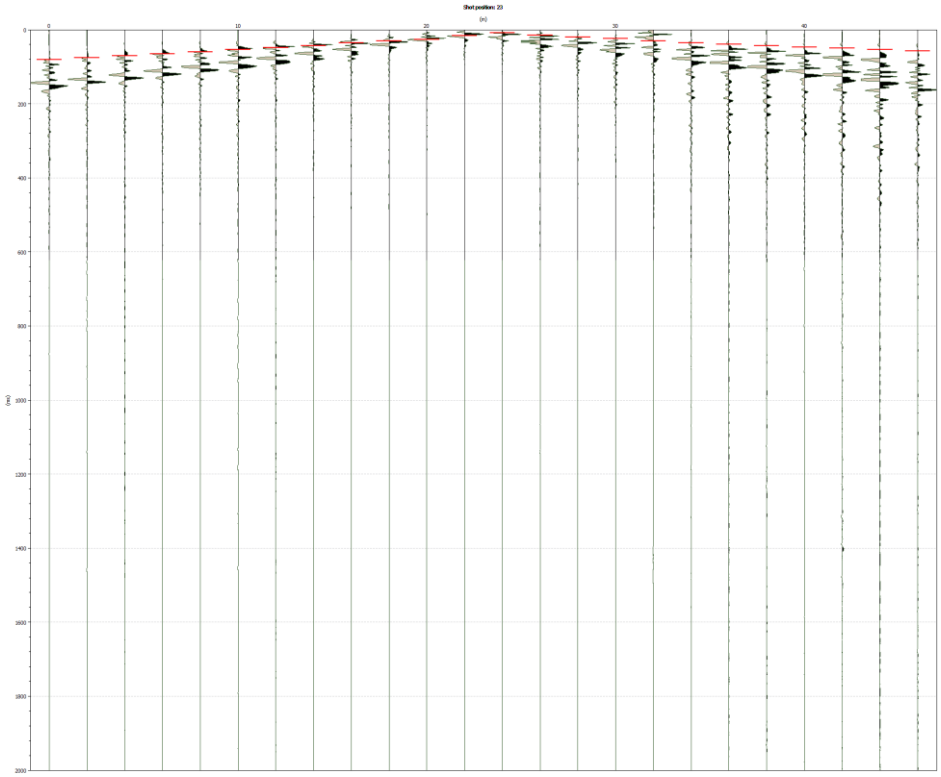
SCOPPIO A



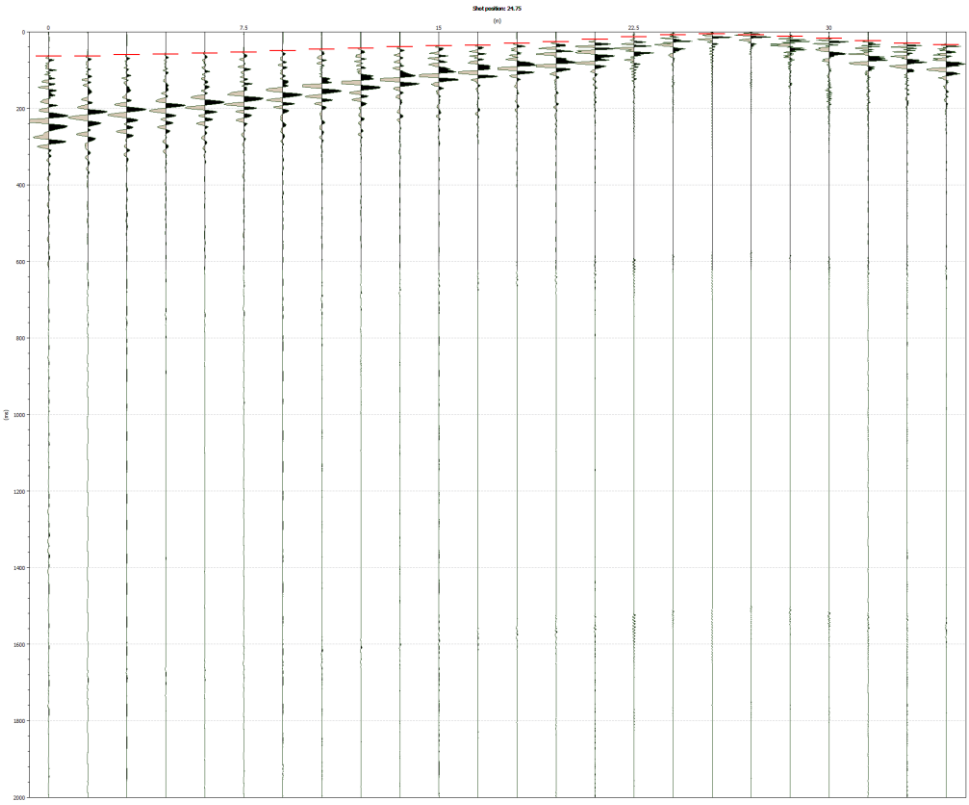
SCOPPIO D1



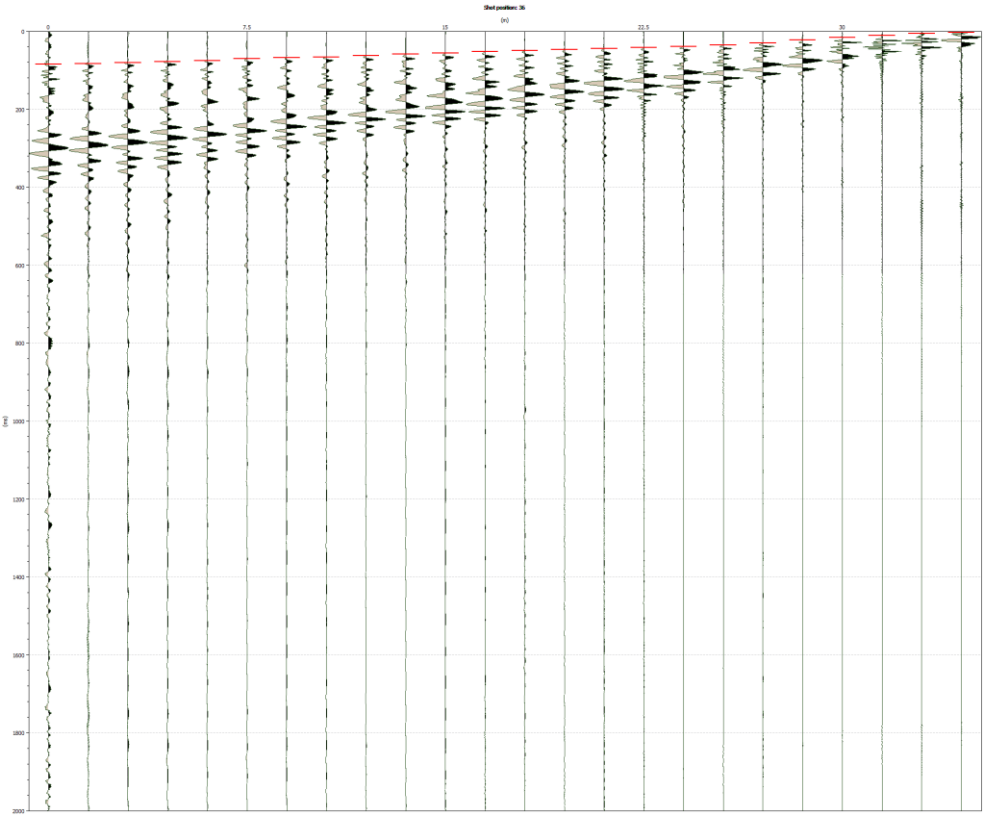
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

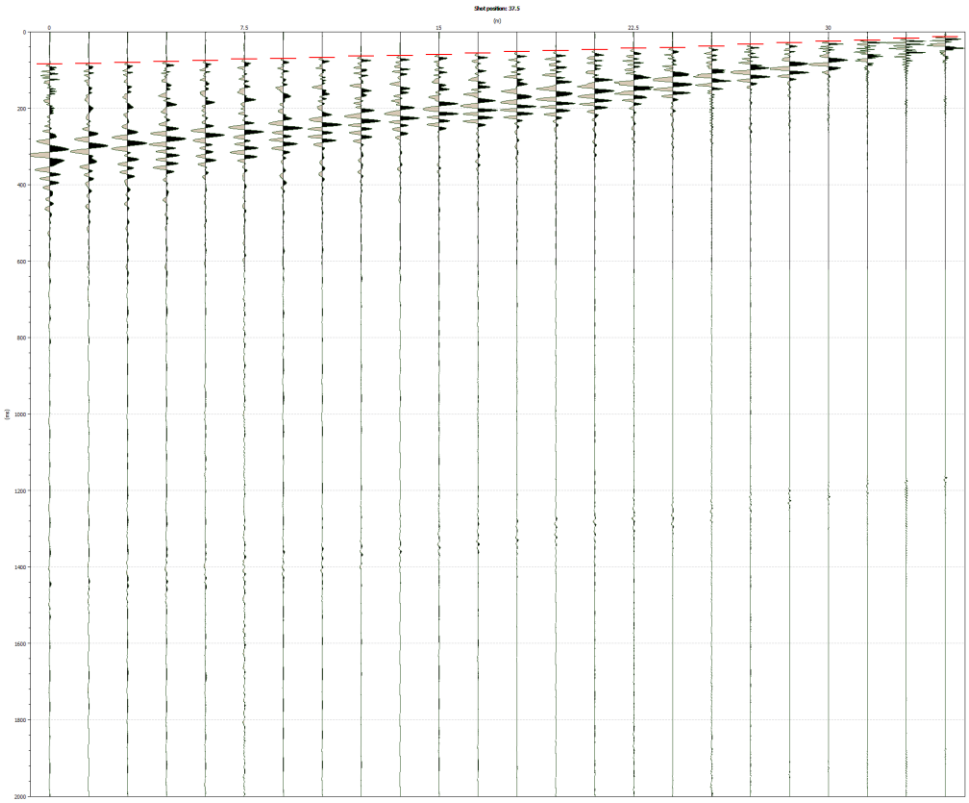


Figura 3-2-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0214005 0.0160396	0.0181498 0.00803961	0.0476771 0.0442376	0.0804551 0.080475	0.115671 0.115671	0.1517 0.151617	0.162265 0.162195
1:0	2	0	0.0287146 0.0240396	0.0306109 0.0160396	0.0409048 0.0360396	0.0758499 0.0758984	0.110253 0.110251	0.147095 0.14741	0.158201 0.157987
2:0	4	0	0.040363 0.0320396	0.0409048 0.0240396	0.0360287 0.0280396	0.0704321 0.0704526	0.105106 0.105107	0.14276 0.142775	0.153325 0.153262
3:0	6	0	0.0495733 0.0402376	0.0474062 0.0320396	0.0281728 0.0200396	0.0650142 0.0649202	0.10023 0.100407	0.138697 0.1389	0.149804 0.149622
4:0	8	0	0.057971 0.0482376	0.0544494 0.0402376	0.0214005 0.0120396	0.0598673 0.0600396	0.095896 0.0960225	0.134905 0.134583	0.144928 0.145306
5:0	10	0	0.0658269 0.0562376	0.0623053 0.0482376	0.0140864 0.00403961	0.0541785 0.0520396	0.0912908 0.0910573	0.13057 0.129622	0.140051 0.140487
6:0	12	0	0.0728701 0.0642376	0.0671814 0.0562376	0.00785589 0.00403961	0.0487607 0.0440396	0.0872274 0.0873623	0.124881 0.125003	0.135175 0.135064
7:0	14	0	0.0774753 0.0722376	0.0728701 0.0642376	0.0132737 0.0120396	0.0433428 0.0360396	0.0823513 0.0821408	0.120005 0.120086	0.129216 0.129139
8:0	16	0	0.0823513 0.0803181	0.0780171 0.0722376	0.0205878 0.0200396	0.035216 0.0280396	0.0763917 0.0759133	0.114317 0.114447	0.123798 0.123675
9:0	18	0	0.0869565 0.0871155	0.0828931 0.080835	0.0314235 0.0280396	0.0306109 0.0200396	0.0704321 0.0681702	0.108899 0.10907	0.118109 0.118065
10:0	20	0	0.0912908 0.0914886	0.0872274 0.0869583	0.0362996 0.0360396	0.0260057 0.0120396	0.0663687 0.0603461	0.104023 0.104332	0.113233 0.113237
11:0	22	0	0.0972504 0.097293	0.0926453 0.0926467	0.0414466 0.0440396	0.0167953 0.00403961	0.060409 0.0480001	0.098334 0.0963705	0.108357 0.104106
12:0	24	0	0.101856 0.101805	0.0975213 0.097506	0.0463226 0.0520396	0.00839767 0.00403961	0.0560748 0.0434631	0.0939997 0.0877679	0.101856 0.0955033
13:0	26	0	0.108357 0.108325	0.102939 0.102945	0.0528241 0.0528035	0.0154409 0.0120396	0.0493025 0.0362376	0.0885819 0.0891913	0.0975213 0.0971671
14:0	28	0	0.112962 0.112911	0.107815 0.10793	0.0593255 0.0592739	0.0197752 0.0198269	0.0438846 0.0280396	0.0845185 0.0829323	0.0923744 0.0907051
15:0	30	0	0.117838 0.117882	0.114588 0.114483	0.0639307 0.0639684	0.0241094 0.0241663	0.0371123 0.0200396	0.0791006 0.0742949	0.0874983 0.0821051
16:0	32	0	0.123527 0.123622	0.120818 0.12082	0.0698903 0.0698299	0.0306109 0.0321663	0.0297982 0.0120396	0.0723283 0.0657971	0.0828931 0.0736074
17:0	34	0	0.128403 0.129603	0.125965 0.124696	0.0761208 0.0761045	0.0360287 0.0401663	0.0238385 0.00403961	0.0652851 0.057912	0.0774753 0.0657223
18:0	36	0	0.131383 0.132776	0.129216 0.12787	0.0804551 0.080684	0.0398212 0.0481663	0.017608 0.00403961	0.0587837 0.0497292	0.0715156 0.0576543
19:0	38	0	0.13653 0.136846	0.132196 0.13194	0.0842476 0.0842087	0.0436137 0.0547062	0.0121902 0.0105859	0.0544494 0.0405854	0.0674523 0.0485854
20:0	40	0	0.141948 0.141414	0.135988 0.136507	0.088311 0.0886072	0.0471353 0.046961	0.0195043 0.0185905	0.0487607 0.0320396	0.0633889 0.0400396
21:0	42	0	0.145198 0.144343	0.138697 0.139436	0.0937288 0.0938672	0.050386 0.0505306	0.0254639 0.025431	0.0417175 0.0240396	0.0568874 0.0320396
22:0	44	0	0.149533 0.148205	0.141948 0.143298	0.0969795 0.0970503	0.0533658 0.0584295	0.032778 0.0323515	0.035216 0.0160396	0.0514696 0.0240396
23:0	46	0	0.153054 0.152254	0.146553 0.147347	0.101314 0.101426	0.0571583 0.0663438	0.0390085 0.0390075	0.0249221 0.00803961	0.0436137 0.0160396

Tabella 3-2 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

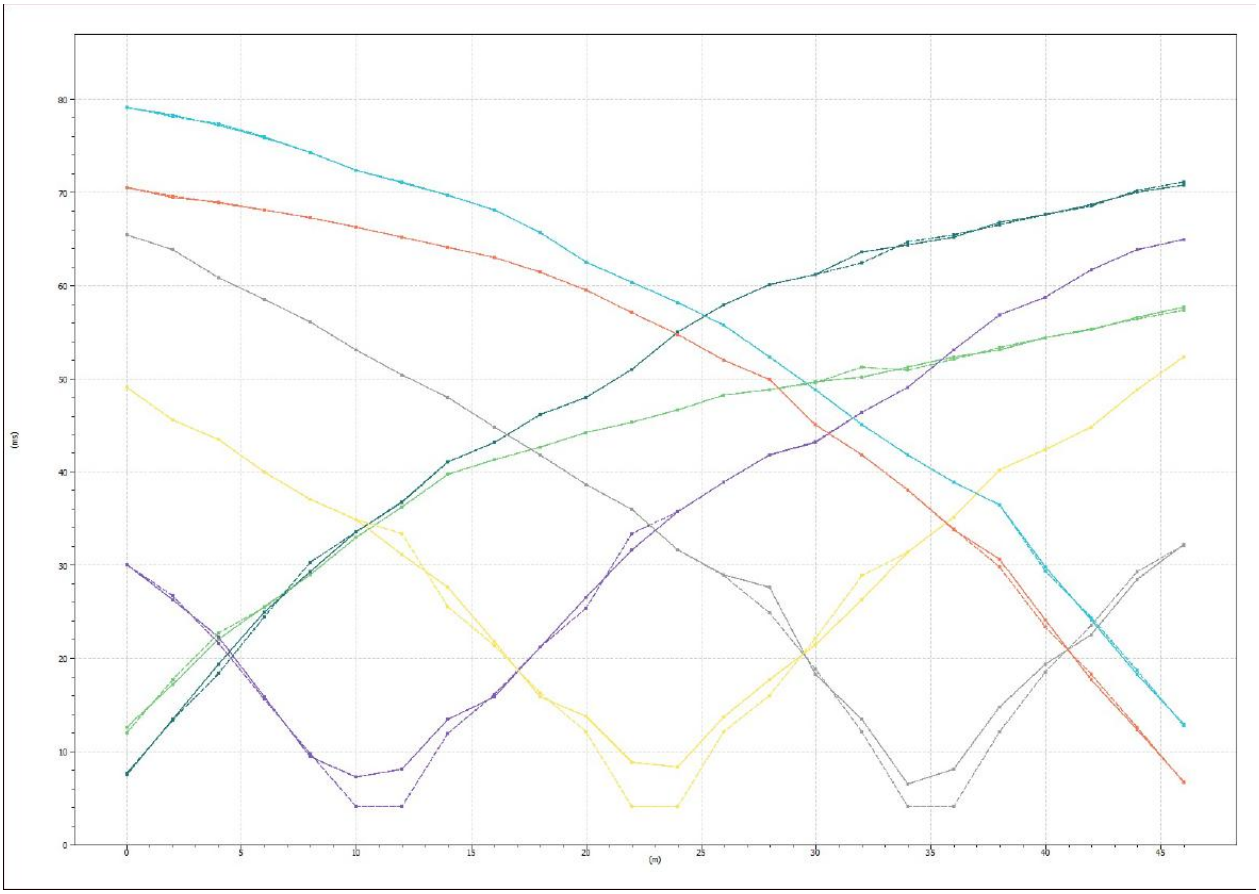


Figura 3-3 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

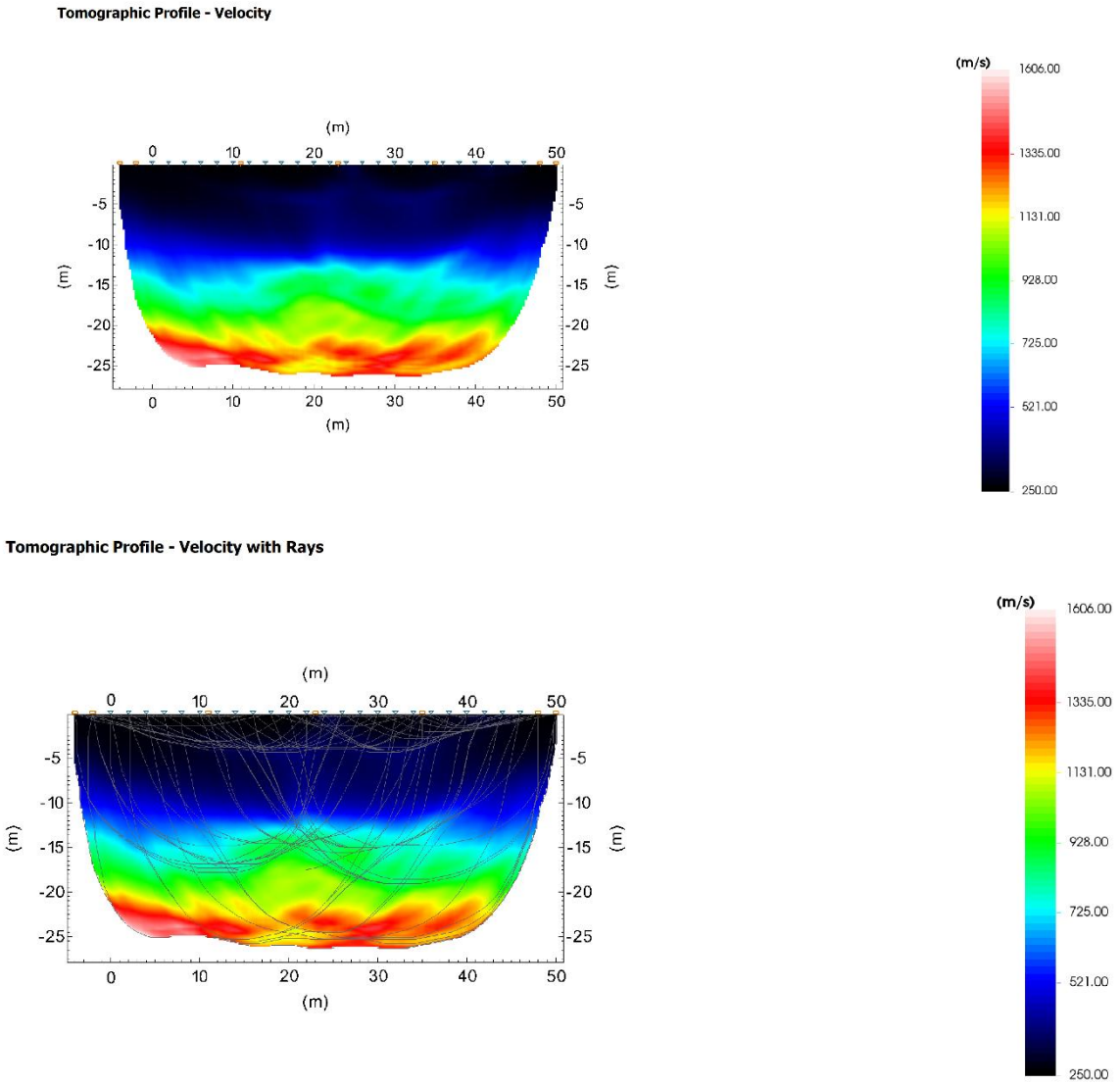


Figura 3-4- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.2 TS 2

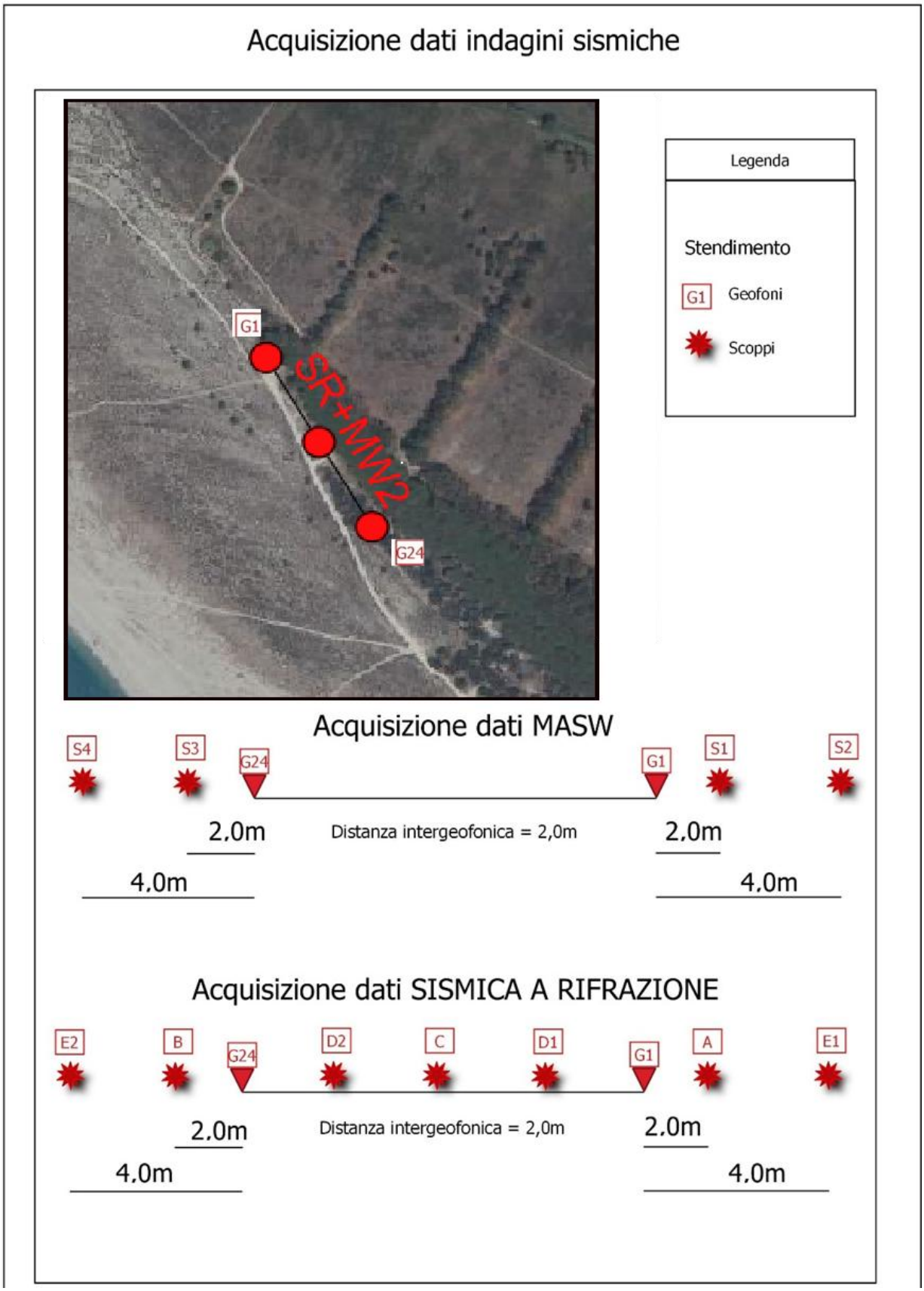


Figura 3-5 – Ubicazione TS 2 e schema di acquisizione dati.

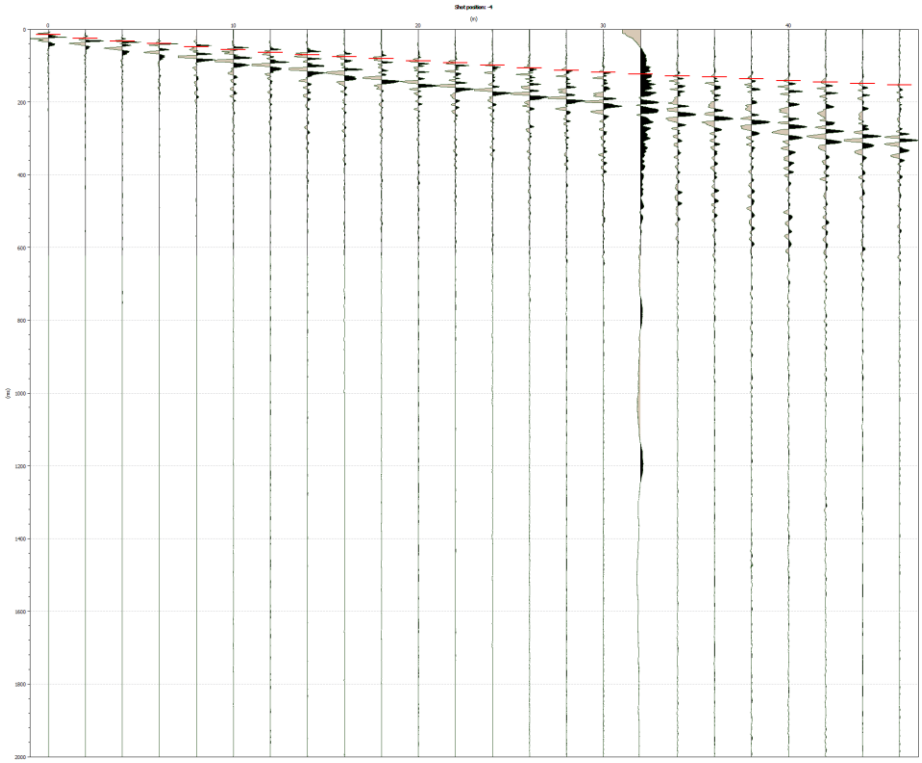
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

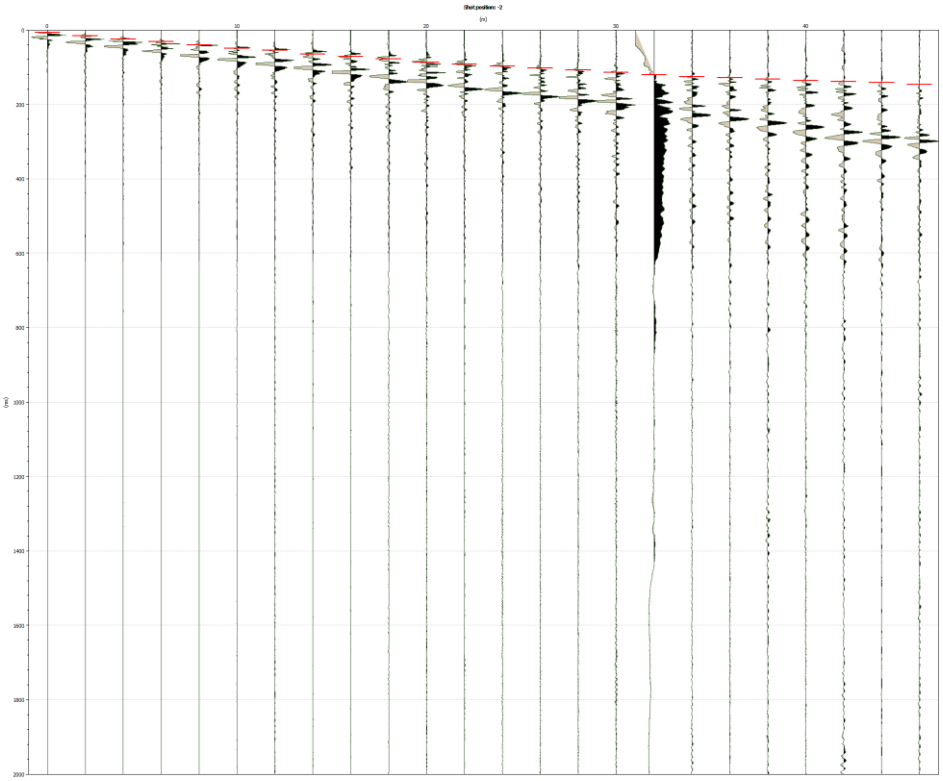
Tabella 3-3 – Posizione degli scoppi TS2

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

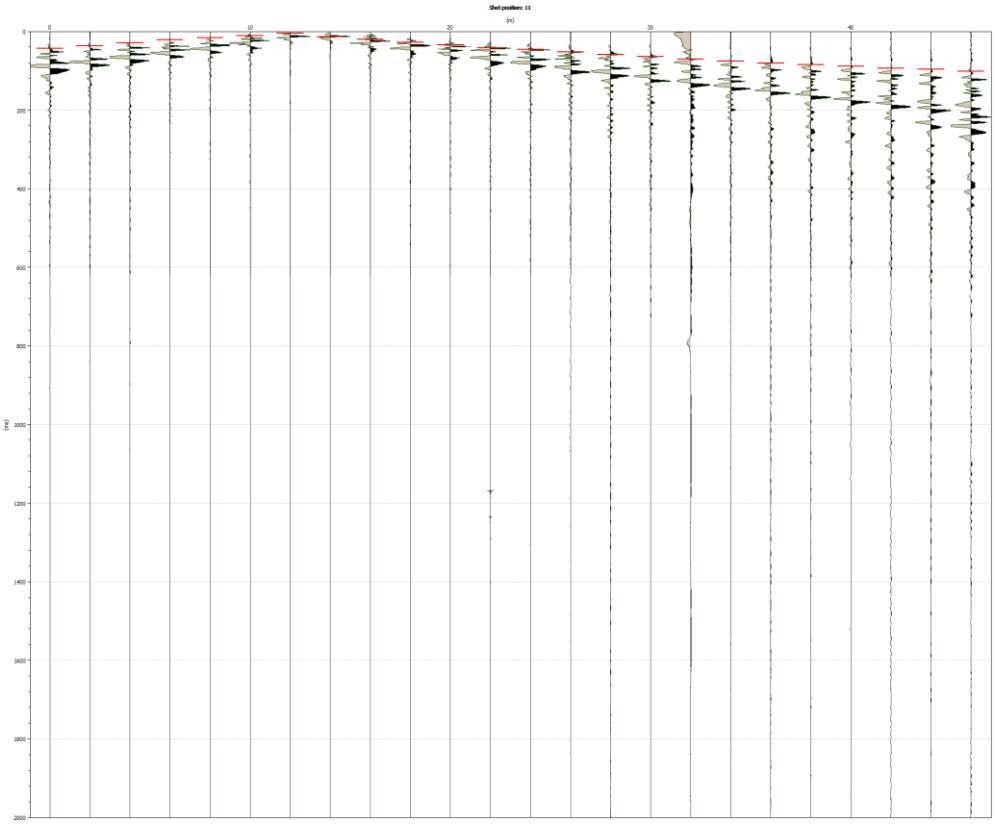
SCOPPIO E1



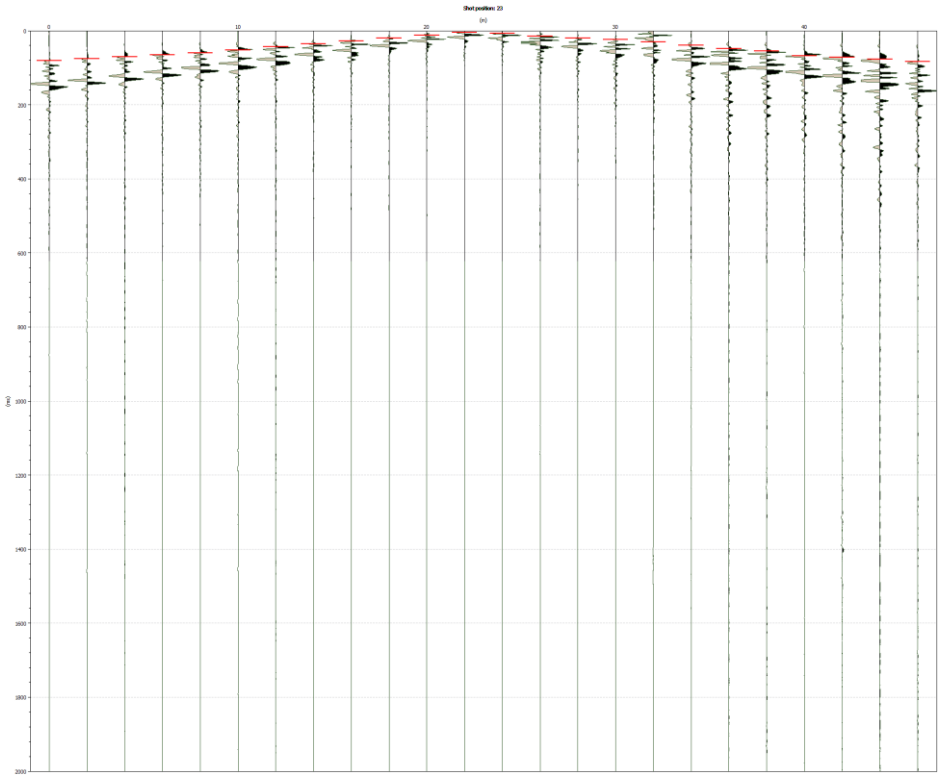
SCOPPIO A



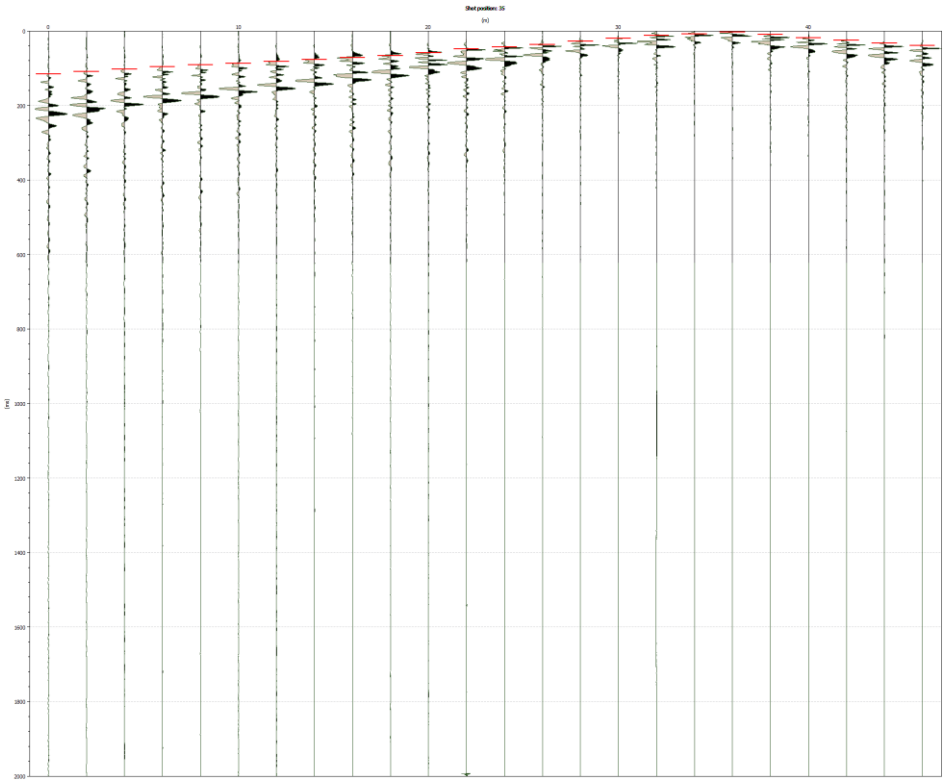
SCOPPIO D1



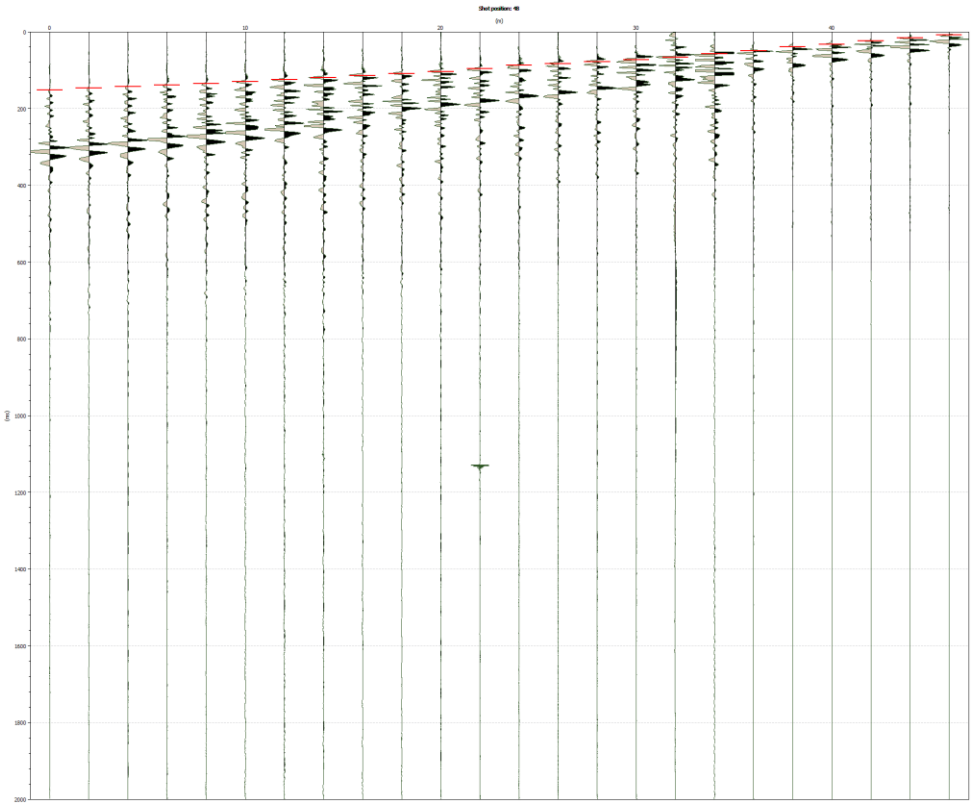
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

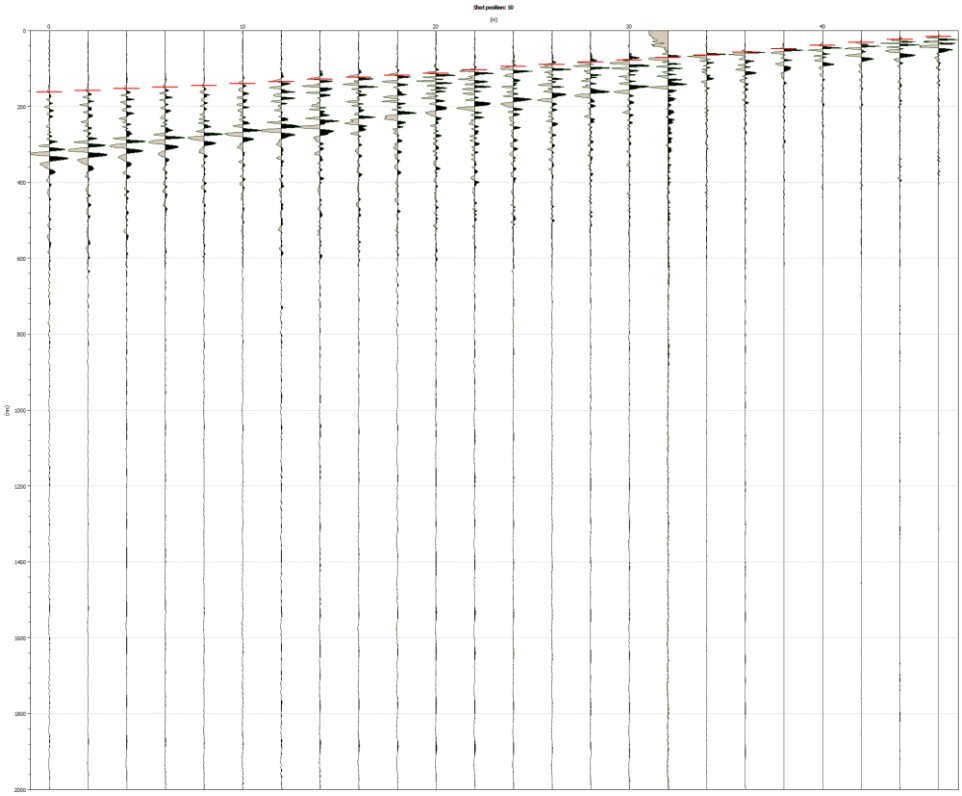


Figura 3-6-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0154409 0.0154387	0.0073141 0.00761811	0.0438846 0.0439151	0.0804551 0.0827303	0.115129 0.115137	0.1517 0.151582	0.162265 0.162261
1:0	2	0	0.0249221 0.0239872	0.0159827 0.0155583	0.0362996 0.0360105	0.0758499 0.0755351	0.109711 0.110218	0.147095 0.147419	0.158201 0.157839
2:0	4	0	0.0330489 0.0320108	0.0249221 0.0241741	0.0292564 0.0280396	0.0704321 0.0699831	0.102668 0.1034	0.14276 0.142792	0.153325 0.153212
3:0	6	0	0.0398212 0.0396878	0.0314235 0.0315622	0.0211296 0.0200396	0.0650142 0.0640601	0.0961669 0.0977766	0.138697 0.138695	0.149804 0.150024
4:0	8	0	0.0487607 0.0477167	0.040363 0.0403047	0.0157118 0.0120396	0.0598673 0.0587469	0.0912908 0.0913126	0.134905 0.135118	0.144928 0.14494
5:0	10	0	0.0558039 0.0548363	0.0493025 0.0487341	0.0108357 0.00403961	0.0517405 0.0507469	0.0866856 0.0847681	0.13057 0.12982	0.140051 0.14017
6:0	12	0	0.0642015 0.0625961	0.0549912 0.0563885	0.00406339 0.00396101	0.0436137 0.0428239	0.0818096 0.0815684	0.124881 0.124828	0.135175 0.135178
7:0	14	0	0.070703 0.0707981	0.0652851 0.0649333	0.0132737 0.011961	0.0357578 0.0348236	0.0769335 0.0767513	0.120005 0.120424	0.129216 0.128862
8:0	16	0	0.0750372 0.0765303	0.0720574 0.0706656	0.0205878 0.0196538	0.0284437 0.02713	0.0720574 0.0722501	0.114317 0.113828	0.123798 0.123961
9:0	18	0	0.0812678 0.0831165	0.0788297 0.0772518	0.0273602 0.0272306	0.0195043 0.0195526	0.0666396 0.0666443	0.108899 0.108757	0.118109 0.118166
10:0	20	0	0.0866856 0.0894827	0.0872274 0.0845917	0.0341325 0.0347442	0.0124611 0.0120396	0.0590546 0.0575294	0.104023 0.10411	0.113233 0.113192
11:0	22	0	0.0926453 0.0954976	0.0926453 0.089914	0.0414466 0.0427453	0.00514696 0.00403961	0.0484898 0.0495294	0.0964378 0.0964617	0.104565 0.104574
12:0	24	0	0.0994176 0.101251	0.0975213 0.0956675	0.0463226 0.0507453	0.00758499 0.00403961	0.0430719 0.0415294	0.0874983 0.0878033	0.0956251 0.0954457
13:0	26	0	0.107003 0.107766	0.102939 0.102182	0.0528241 0.0527594	0.0154409 0.0120396	0.0371123 0.0335267	0.0828931 0.0828642	0.0904781 0.0905011
14:0	28	0	0.112962 0.113	0.107815 0.107417	0.0593255 0.0594587	0.0197752 0.0187804	0.0279019 0.0267827	0.0780171 0.0777106	0.083164 0.0834732
15:0	30	0	0.117838 0.117839	0.114588 0.113251	0.0639307 0.0647219	0.0241094 0.0256069	0.0195043 0.0199596	0.0734119 0.0730641	0.0777462 0.0775639
16:0	32	0	0.123527 0.123531	0.120818 0.119355	0.0698903 0.0708254	0.0306109 0.0335293	0.0121902 0.0120396	0.0660978 0.0627439	0.0715156 0.0707439
17:0	34	0	0.128403 0.128405	0.125965 0.125957	0.0761208 0.0759414	0.0398212 0.0415294	0.00785589 0.00403961	0.0574292 0.0547439	0.0658269 0.0627439
18:0	36	0	0.131383 0.131487	0.129216 0.129209	0.0804551 0.0801864	0.0484898 0.0489689	0.0037925 0.00347629	0.0493025 0.0473003	0.0574292 0.0553003
19:0	38	0	0.13653 0.136623	0.132196 0.132195	0.0842476 0.0840661	0.055533 0.0562318	0.0102939 0.0107393	0.0398212 0.0400396	0.0482189 0.0480396
20:0	40	0	0.141948 0.141549	0.135988 0.136244	0.088311 0.0880182	0.0674523 0.0674656	0.0186916 0.0187411	0.0325071 0.0320396	0.0398212 0.0400396
21:0	42	0	0.145198 0.145202	0.138697 0.138677	0.0937288 0.0933132	0.0723283 0.0726325	0.0254639 0.0267411	0.0241094 0.0240396	0.0319653 0.0320396
22:0	44	0	0.149533 0.149535	0.141948 0.141919	0.0969795 0.0985285	0.0769335 0.0762973	0.032778 0.0347411	0.0162536 0.0160396	0.0232968 0.0240396
23:0	46	0	0.153054 0.153056	0.146553 0.146547	0.101314 0.101565	0.0828931 0.08302	0.0390085 0.0427411	0.00839767 0.00803961	0.0162536 0.0160396

Tabella 3-4 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

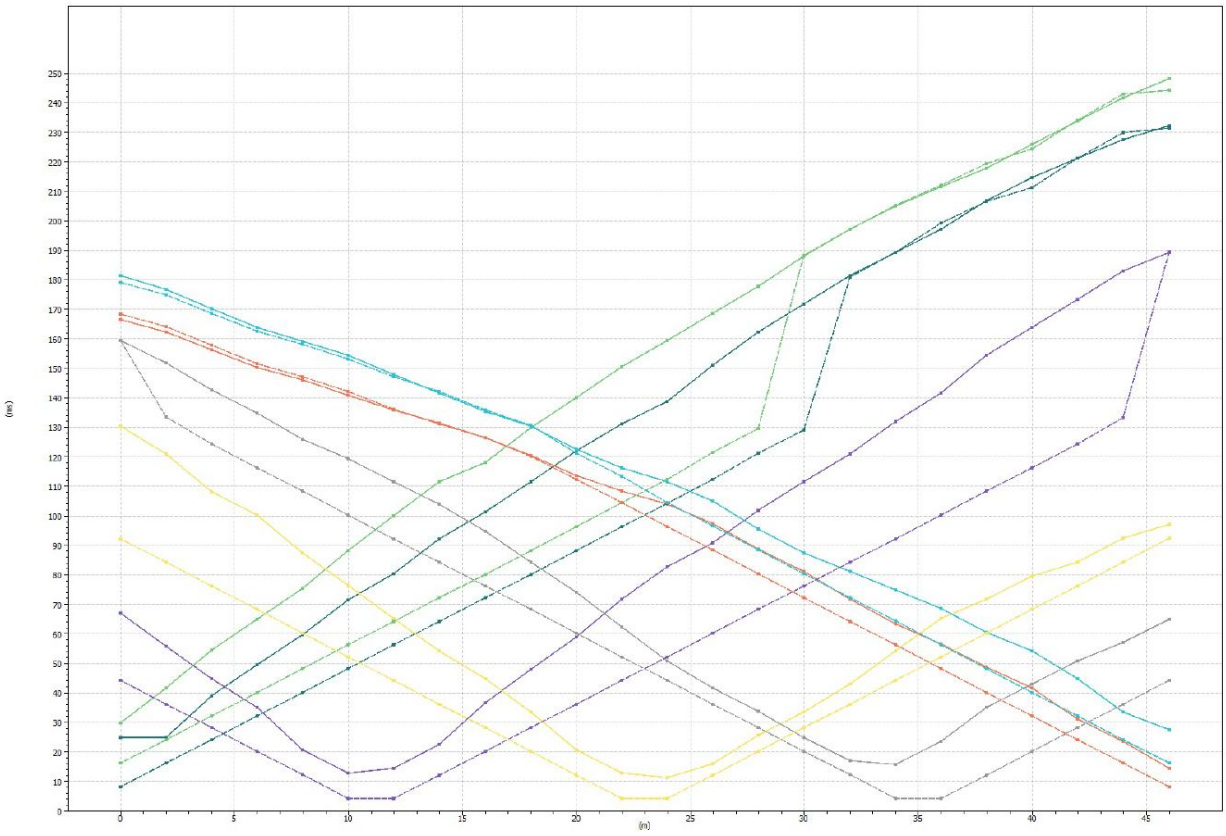


Figura 3-7 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

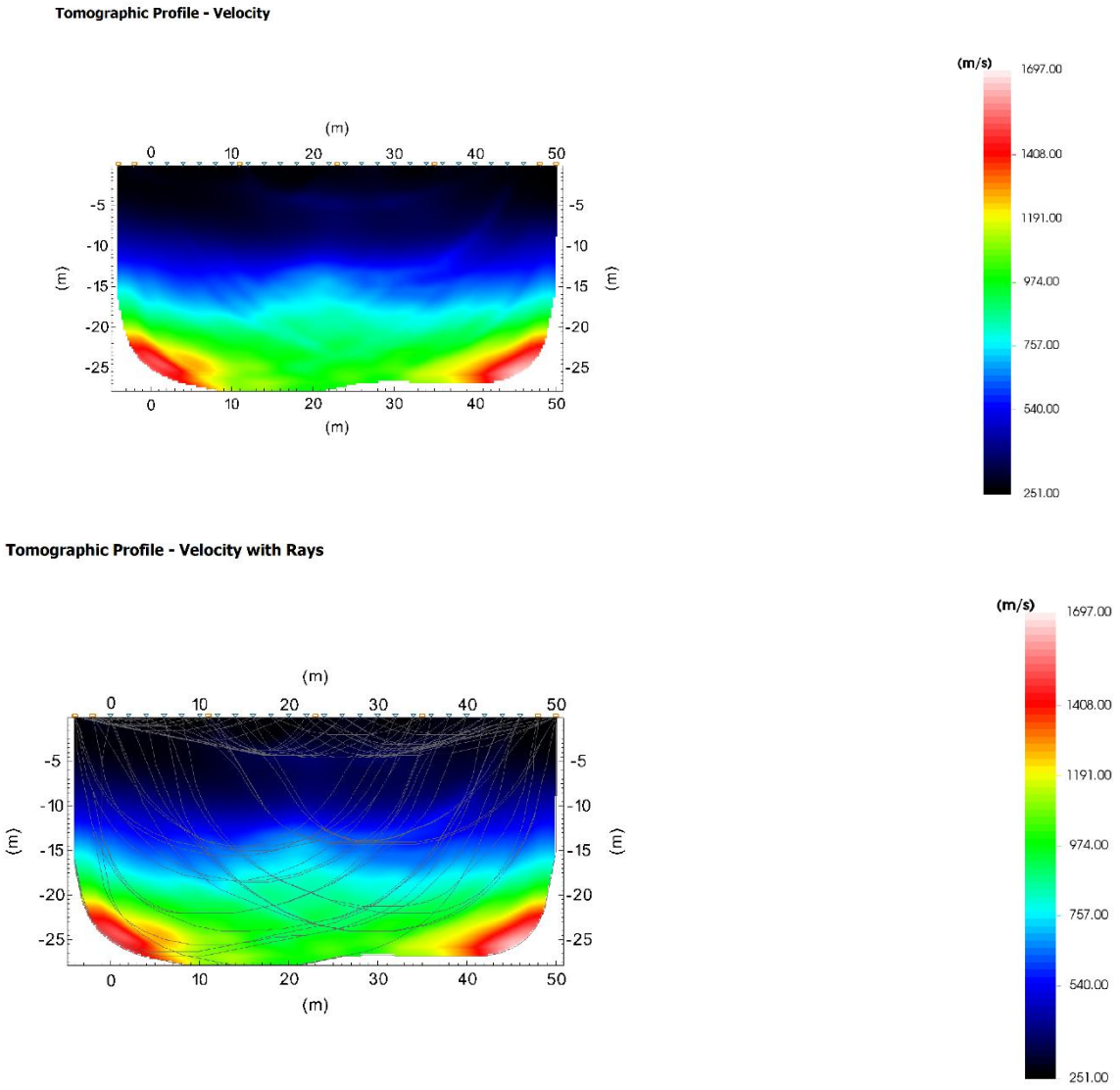


Figura 3-8- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.3 TS 3

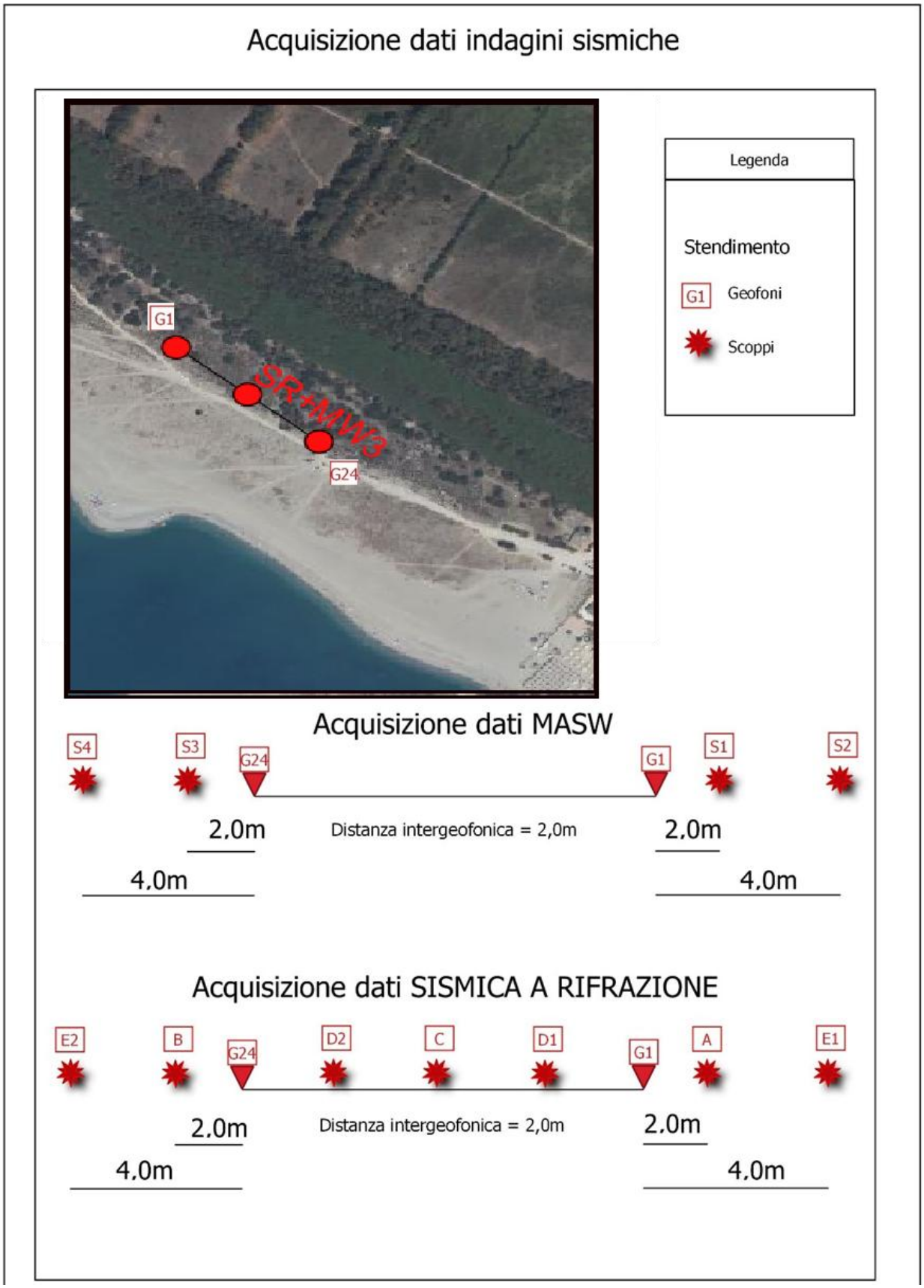


Figura 3-9 – Ubicazione TS 3 e schema di acquisizione dati.

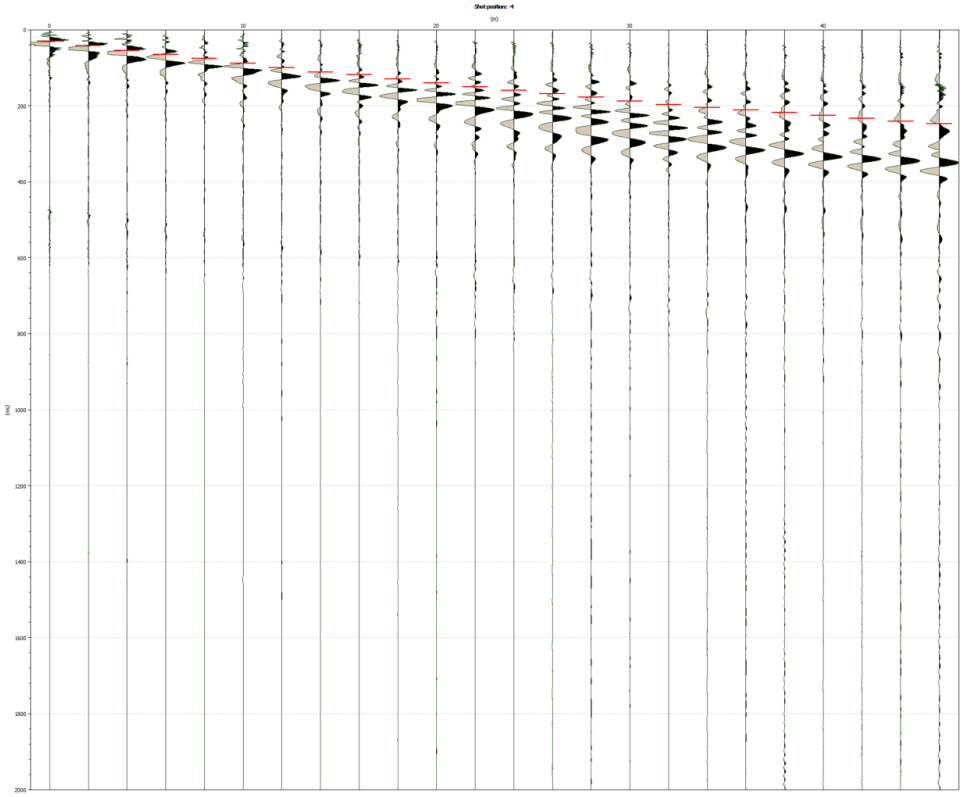
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

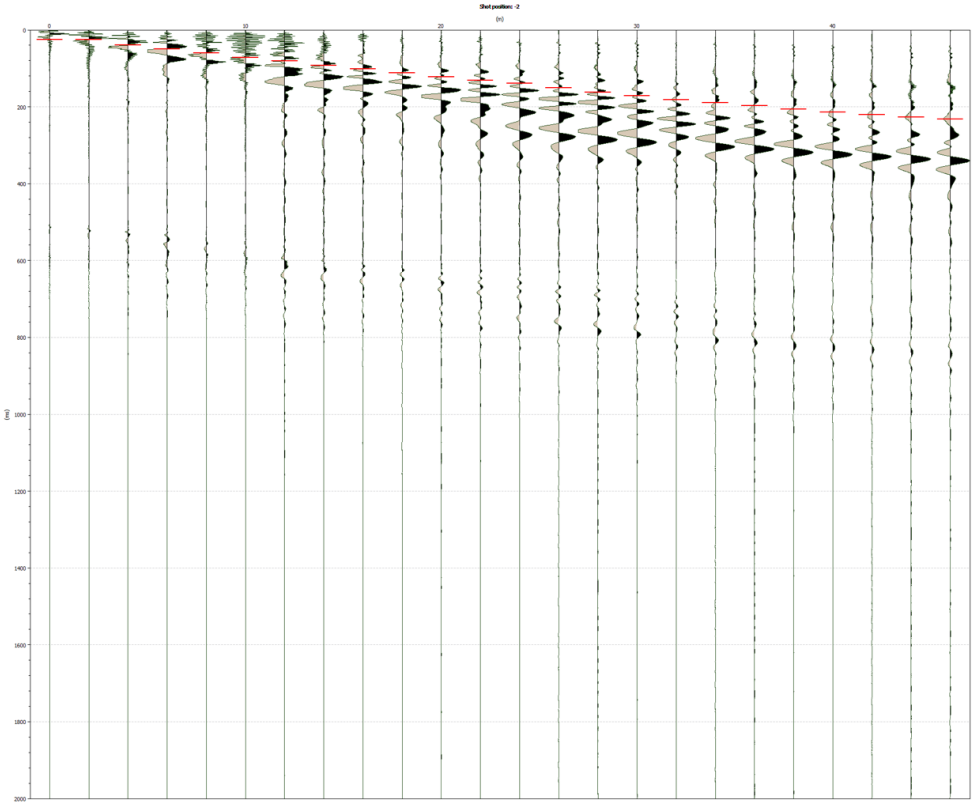
Tabella 3-5 – Posizione degli scoppi TS3

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

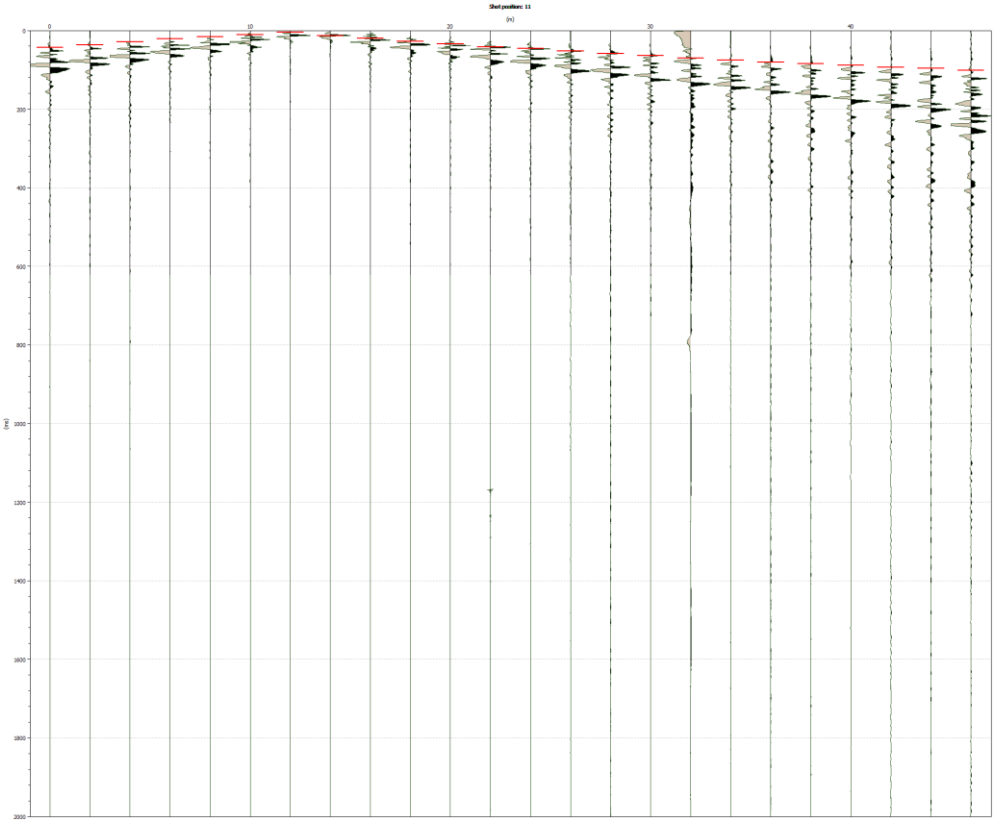
SCOPPIO E1



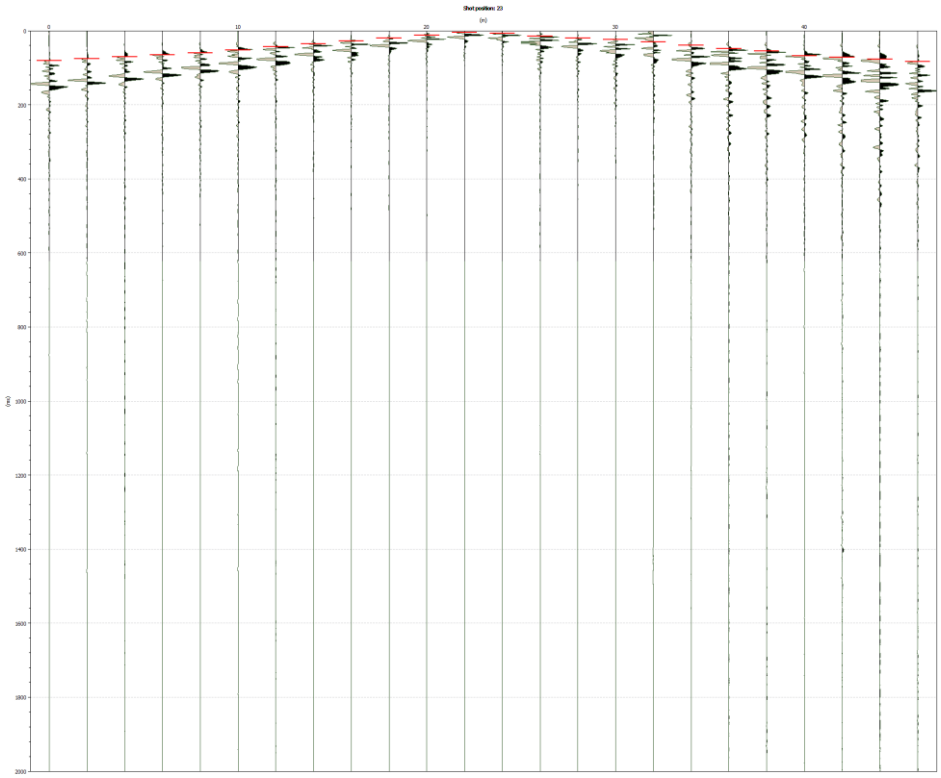
SCOPPIO A



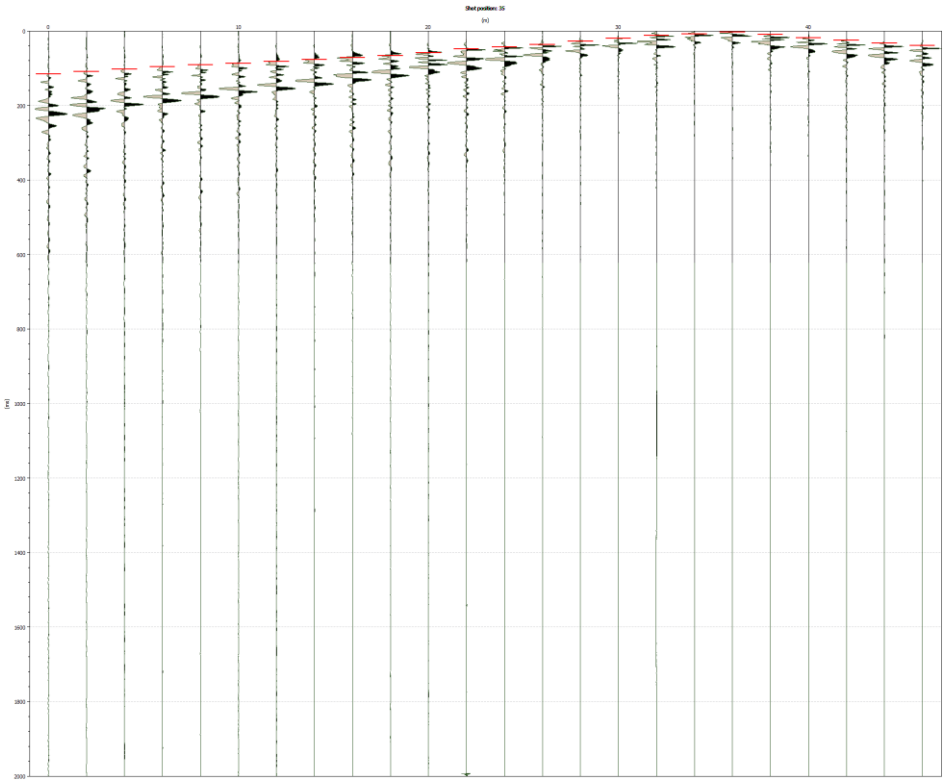
SCOPPIO D1



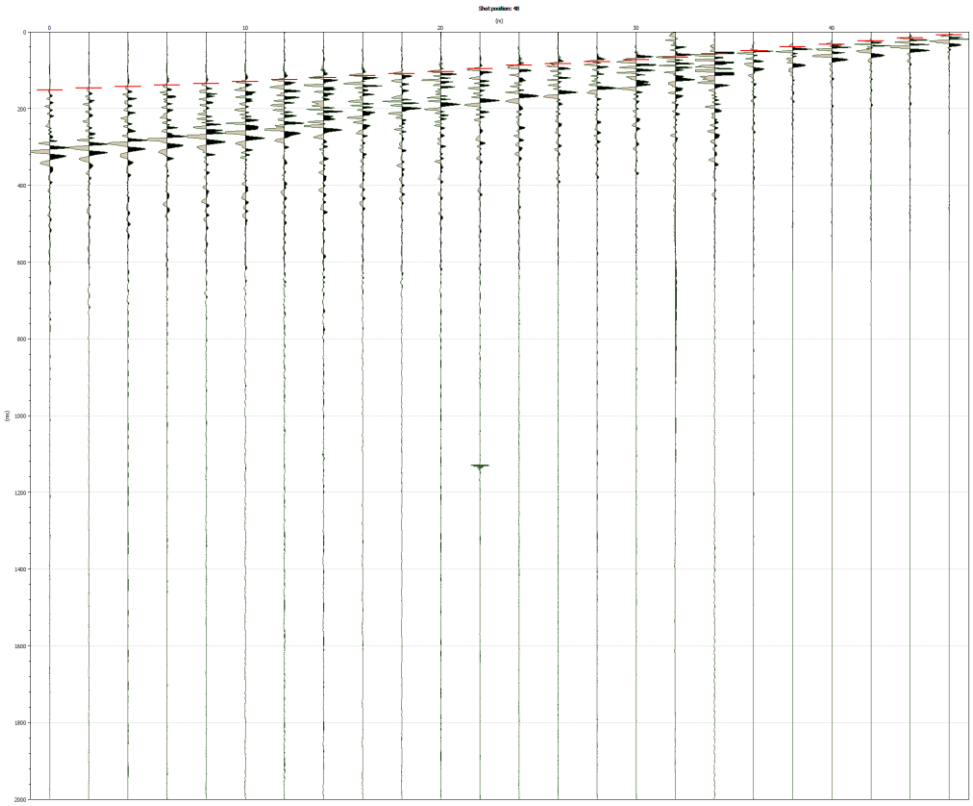
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

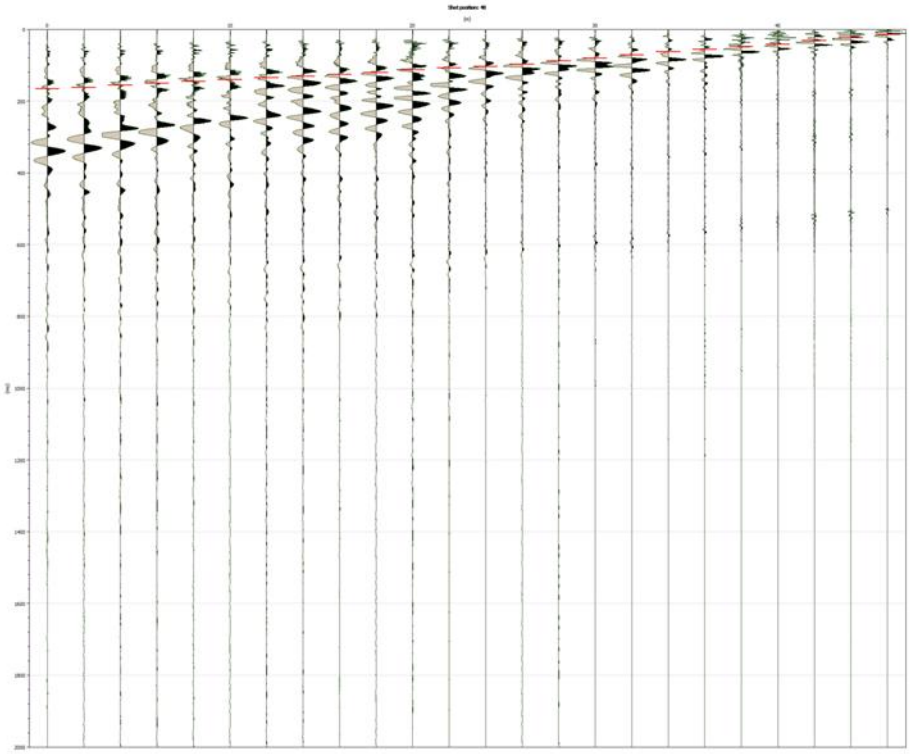


Figura 3-10-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0154409 0.0159457	0.0073141 0.00803961	0.0438846 0.0440396	0.0804551 0.0806876	0.115129 0.115212	0.1517 0.151664	0.162265 0.162262
1:0	2	0	0.0249221 0.0239457	0.0159827 0.0160396	0.0362996 0.0360396	0.0758499 0.0757118	0.109711 0.109662	0.147095 0.146999	0.158201 0.158207
2:0	4	0	0.0330489 0.0319457	0.0249221 0.0240396	0.0292564 0.0280396	0.0704321 0.0704444	0.102668 0.102705	0.14276 0.143018	0.153325 0.153043
3:0	6	0	0.0398212 0.0399457	0.0314235 0.0320396	0.0211296 0.0200396	0.0650142 0.0659131	0.0961669 0.0960685	0.138697 0.139012	0.149804 0.149908
4:0	8	0	0.0487607 0.0479457	0.040363 0.0400396	0.0157118 0.0120396	0.0598673 0.0579131	0.0912908 0.0916586	0.134905 0.134602	0.144928 0.144954
5:0	10	0	0.0558039 0.0559457	0.0493025 0.0480396	0.0108357 0.00403961	0.0517405 0.0499131	0.0866856 0.0863601	0.13057 0.129304	0.140051 0.138507
6:0	12	0	0.0642015 0.0638365	0.0549912 0.0559304	0.00406339 0.00392819	0.0436137 0.0420223	0.0818096 0.0823119	0.124881 0.124132	0.135175 0.133336
7:0	14	0	0.070703 0.0718365	0.0652851 0.0639304	0.0132737 0.0119282	0.0357578 0.0340214	0.0769335 0.076839	0.120005 0.120104	0.129216 0.129308
8:0	16	0	0.0750372 0.0749404	0.0720574 0.071959	0.0205878 0.0192985	0.0284437 0.0266488	0.0720574 0.0720173	0.114317 0.114575	0.123798 0.123778
9:0	18	0	0.0812678 0.0814136	0.0788297 0.0785217	0.0273602 0.0265417	0.0195043 0.0194056	0.0666396 0.0650752	0.108899 0.10901	0.118109 0.118214
10:0	20	0	0.0866856 0.088413	0.0872274 0.0855211	0.0341325 0.0339096	0.0124611 0.0120396	0.0590546 0.0577092	0.104023 0.104112	0.113233 0.113316
11:0	22	0	0.0926453 0.0939223	0.0926453 0.0913507	0.0414466 0.0419109	0.00514696 0.00403961	0.0484898 0.0497092	0.0964378 0.0960376	0.104565 0.105073
12:0	24	0	0.0994176 0.0997466	0.0975213 0.097175	0.0463226 0.0499109	0.00758499 0.00403961	0.0430719 0.0417092	0.0874983 0.0873007	0.0956251 0.0958105
13:0	26	0	0.107003 0.106482	0.102939 0.103365	0.0528241 0.0579052	0.0154409 0.0120339	0.0371123 0.0337117	0.0828931 0.0824689	0.0904781 0.090913
14:0	28	0	0.112962 0.111848	0.107815 0.10873	0.0593255 0.0644044	0.0197752 0.0185331	0.0279019 0.0272099	0.0780171 0.0779725	0.083164 0.0832042
15:0	30	0	0.117838 0.117842	0.114588 0.114589	0.0639307 0.06386	0.0241094 0.0257122	0.0195043 0.0200348	0.0734119 0.0718323	0.0777462 0.0798323
16:0	32	0	0.123527 0.123527	0.120818 0.120837	0.0698903 0.0697488	0.0306109 0.0337092	0.0121902 0.0120396	0.0660978 0.0639995	0.0715156 0.0719995
17:0	34	0	0.128403 0.128456	0.125965 0.125918	0.0761208 0.0759037	0.0398212 0.0417092	0.00785589 0.00403961	0.0574292 0.0549192	0.0658269 0.0629192
18:0	36	0	0.131383 0.131391	0.129216 0.129224	0.0804551 0.0801734	0.0484898 0.0491092	0.0037925 0.00343658	0.0493025 0.0475146	0.0574292 0.0555146
19:0	38	0	0.13653 0.136717	0.132196 0.132022	0.0842476 0.0839575	0.055533 0.0562665	0.0102939 0.0105939	0.0398212 0.0401135	0.0482189 0.0481135
20:0	40	0	0.141948 0.1417	0.135988 0.136221	0.088311 0.0880676	0.0674523 0.0642687	0.0186916 0.0185961	0.0325071 0.0315501	0.0398212 0.0395501
21:0	42	0	0.145198 0.145467	0.138697 0.138436	0.0937288 0.0937115	0.0723283 0.0724307	0.0254639 0.026533	0.0241094 0.0239824	0.0319653 0.0319824
22:0	44	0	0.149533 0.149251	0.141948 0.142219	0.0969795 0.0978704	0.0769335 0.0770527	0.032778 0.0349156	0.0162536 0.0160396	0.0232968 0.0240396
23:0	46	0	0.153054 0.153055	0.146553 0.146539	0.101314 0.10528	0.0828931 0.0821857	0.0390085 0.0429161	0.00839767 0.00803961	0.0162536 0.0160396

Tabella 3-6 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

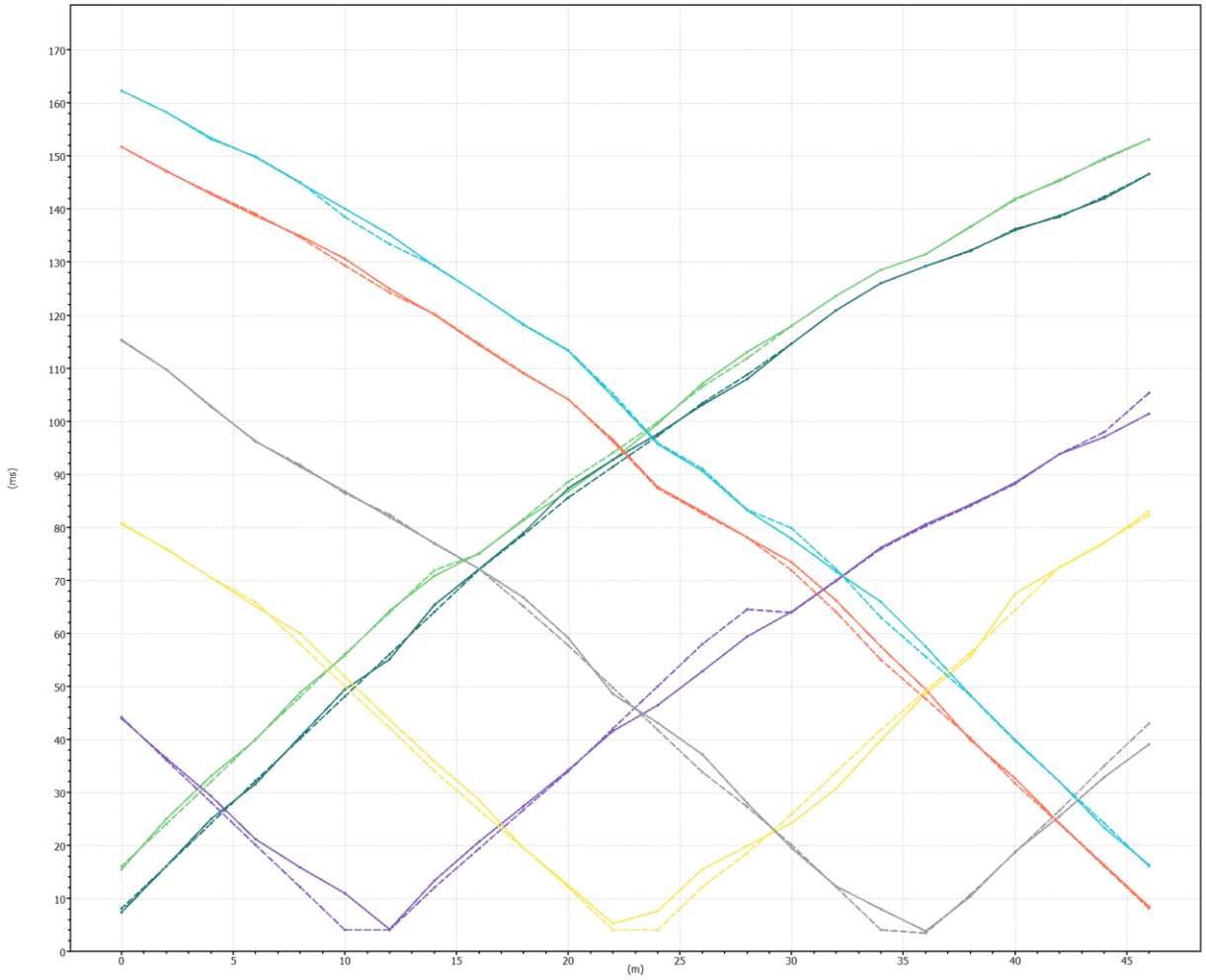


Figura 3-11 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

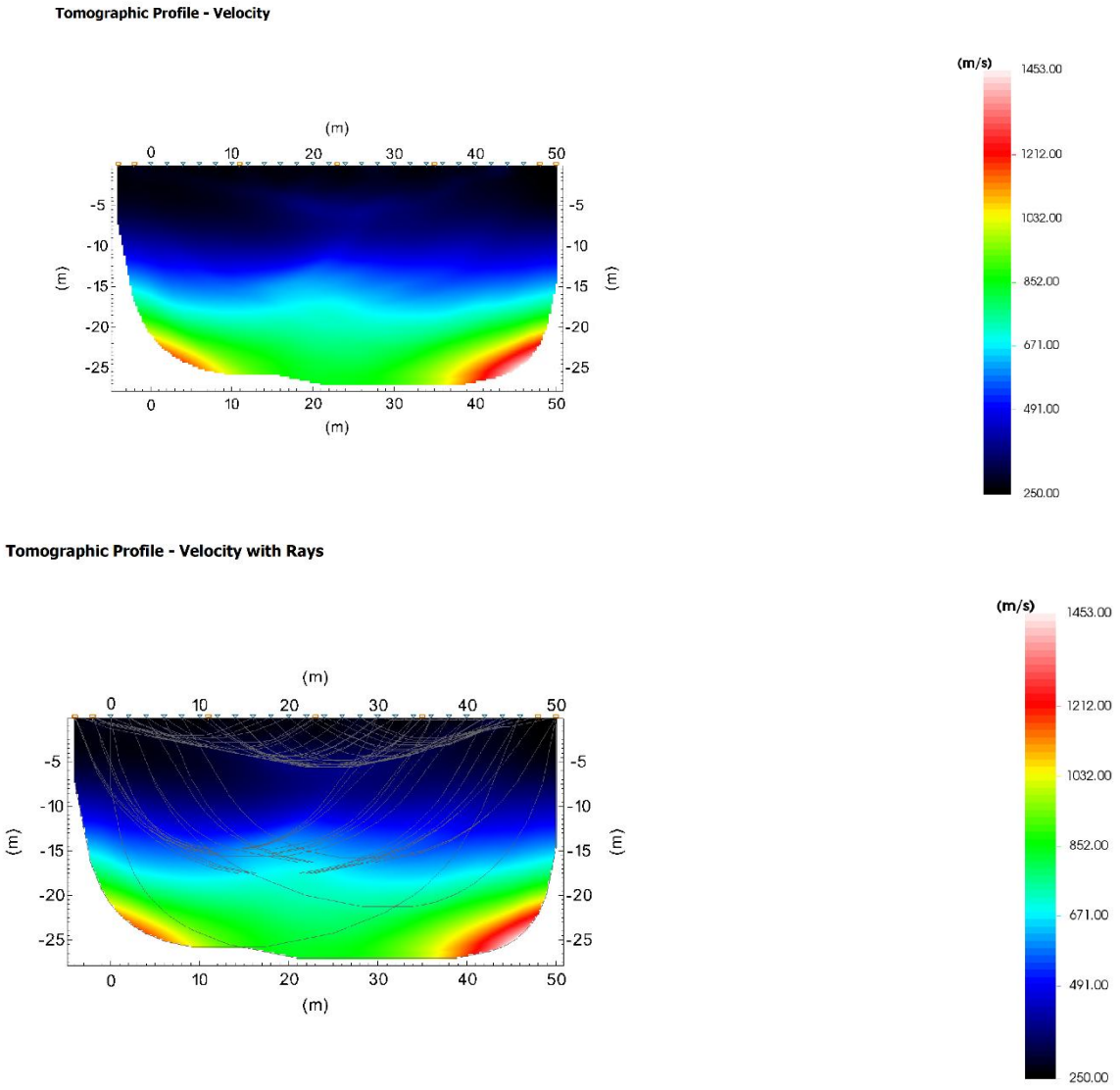


Figura 3-12- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.4 TS 4

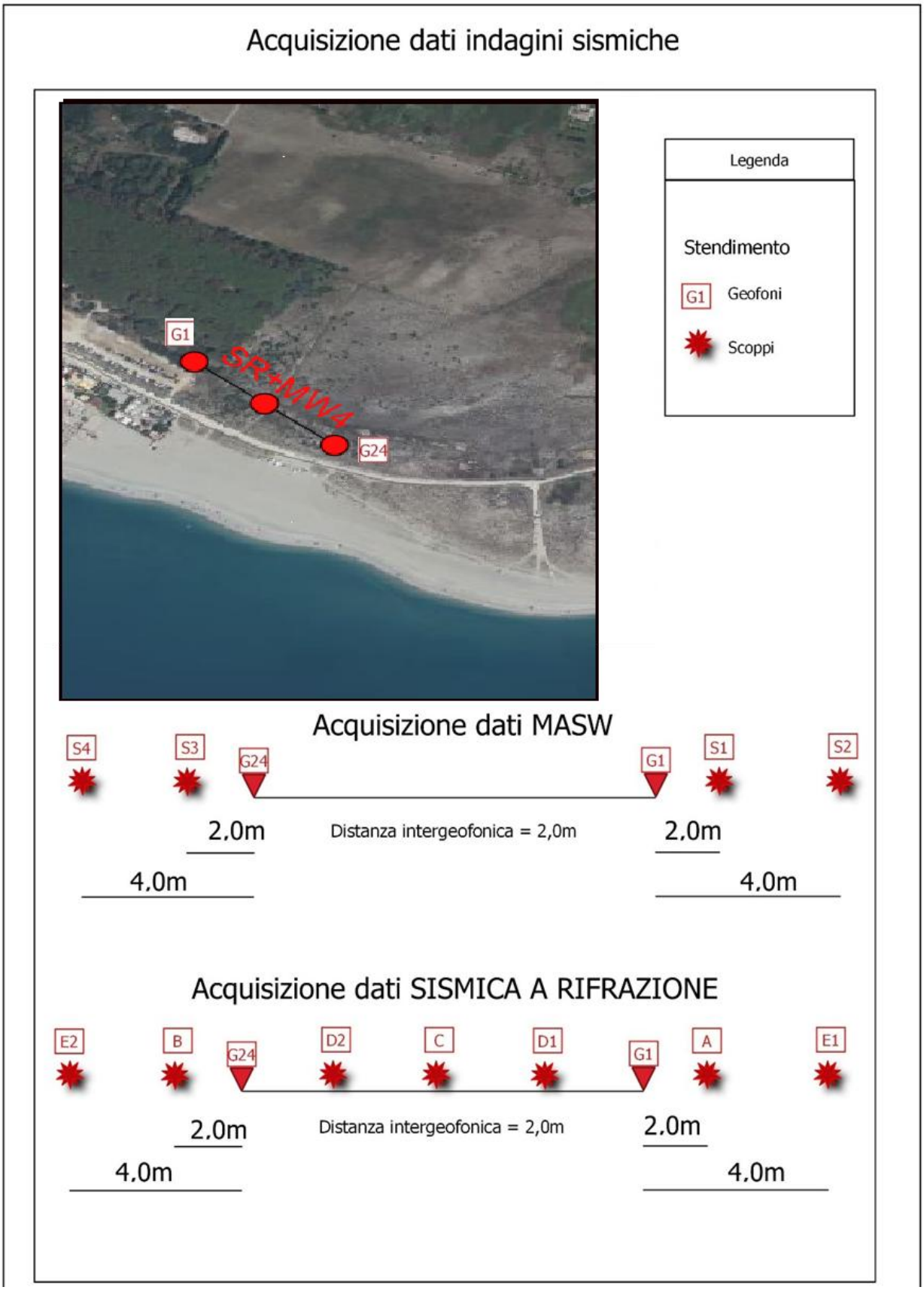


Figura 3-13 – Ubicazione TS 4 e schema di acquisizione dati.

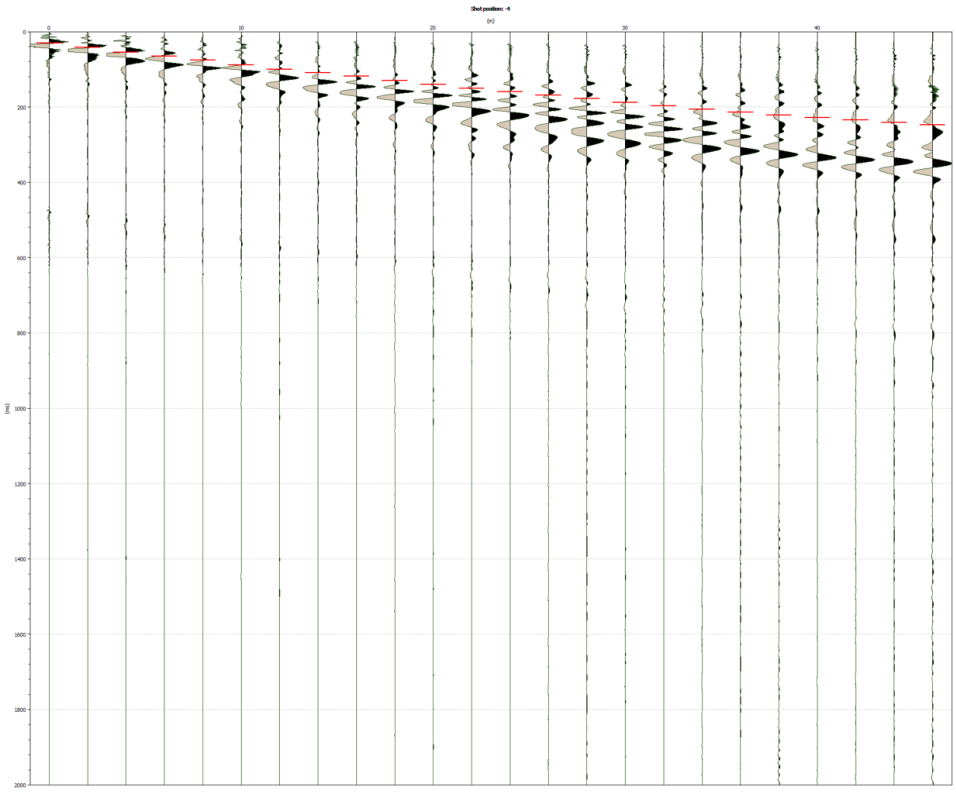
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

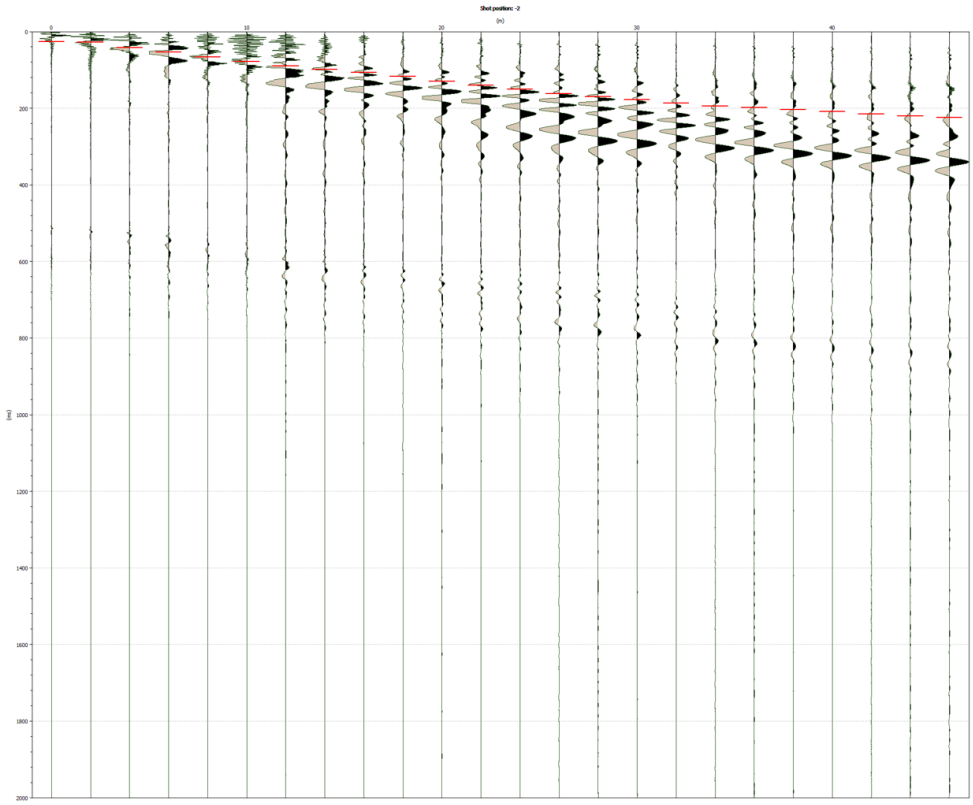
Tabella 3-7 – Posizione degli scoppi TS4

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

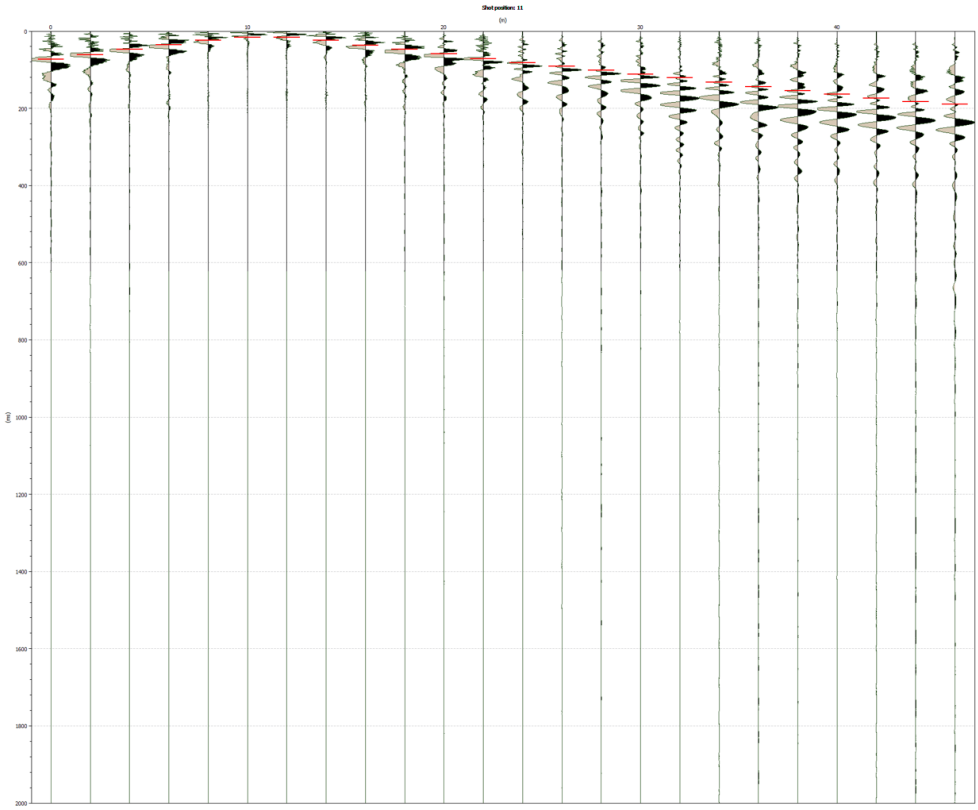
SCOPPIO E1



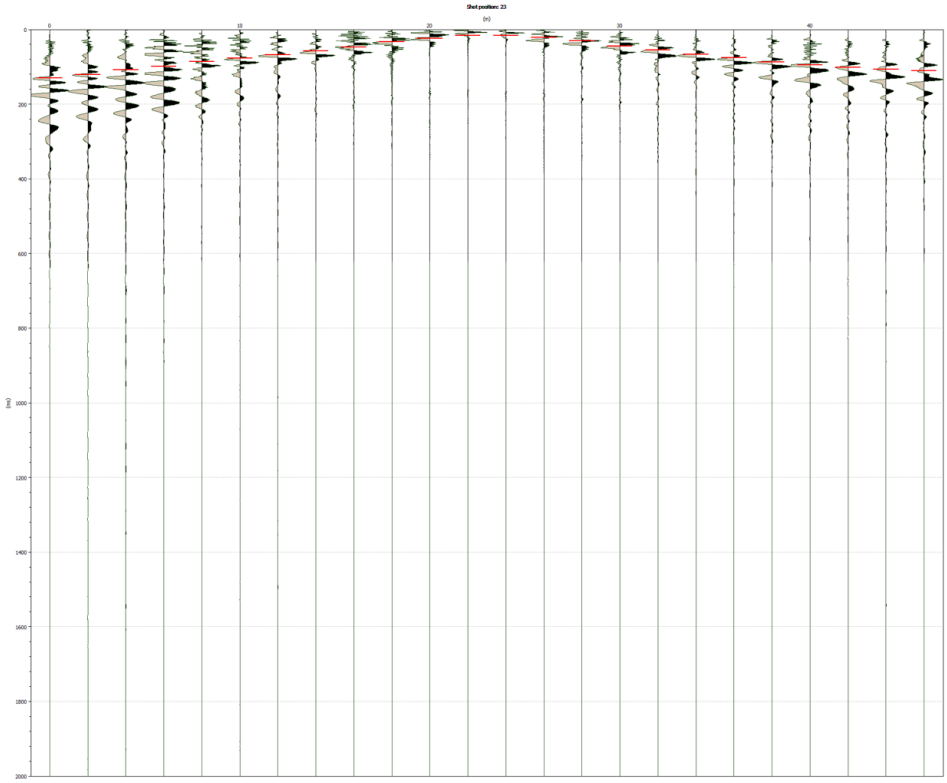
SCOPPIO A



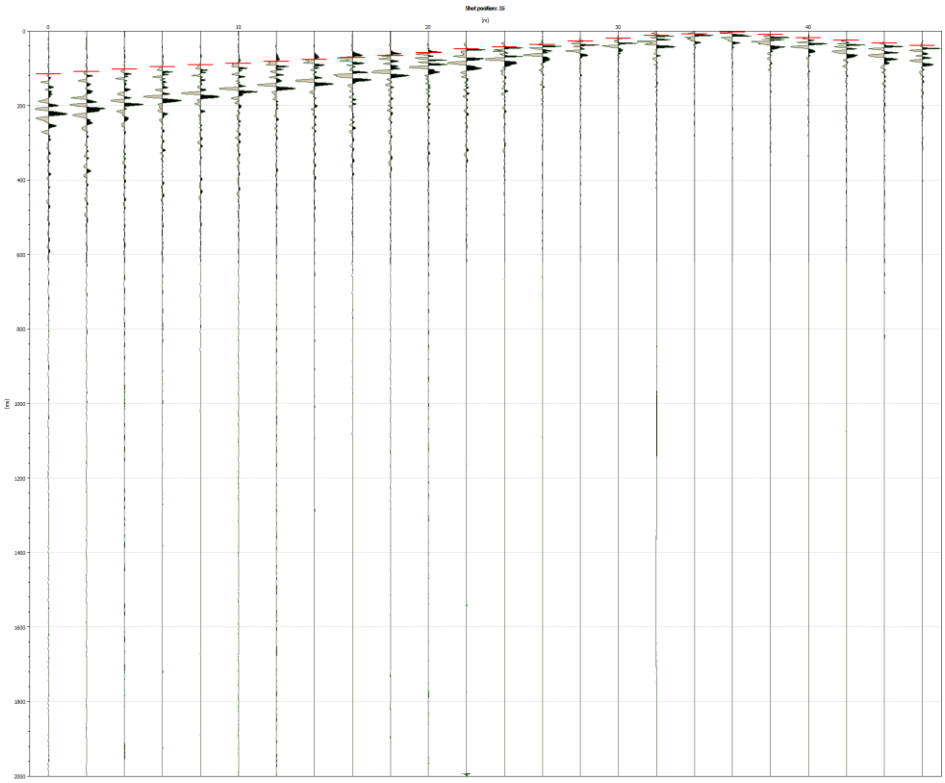
SCOPPIO D1



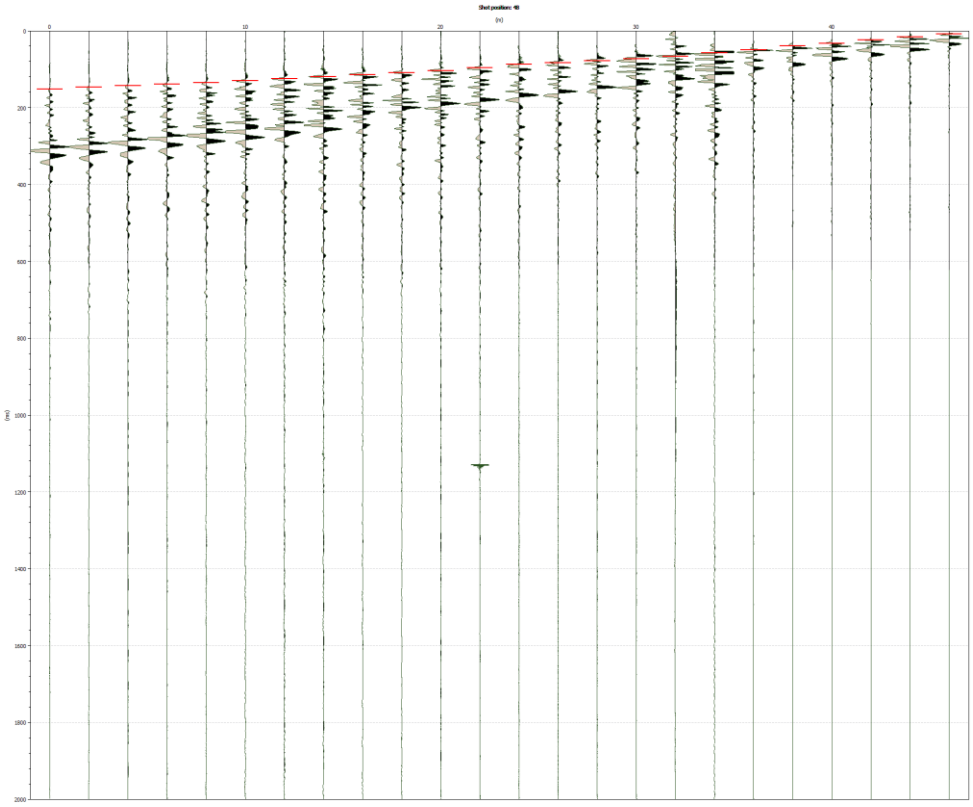
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

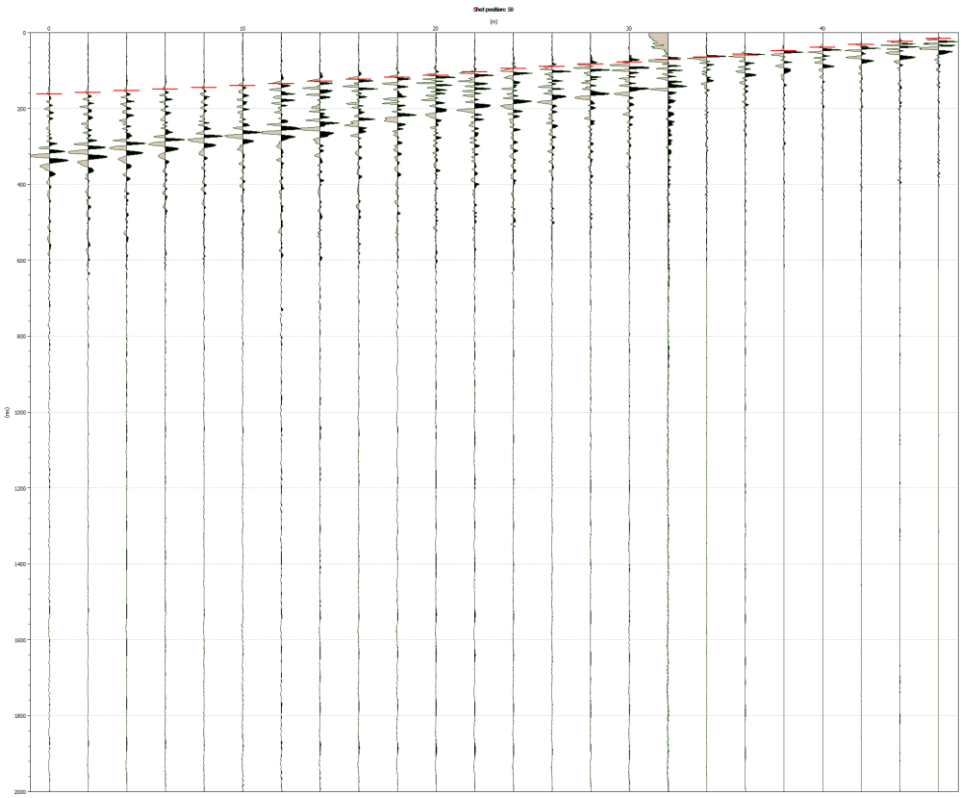


Figura 3-14-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0154409 0.0159097	0.0073141 0.00803961	0.0438846 0.0440396	0.0804551 0.0803607	0.115129 0.11557	0.1517 0.151689	0.162265 0.162261
1:0	2	0	0.0249221 0.0239097	0.0159827 0.0160396	0.0362996 0.0360396	0.0758499 0.0759764	0.109711 0.109831	0.147095 0.147108	0.158201 0.158198
2:0	4	0	0.0330489 0.0319097	0.0249221 0.0240396	0.0292564 0.0280396	0.0704321 0.0705398	0.102668 0.102122	0.14276 0.143944	0.153325 0.153329
3:0	6	0	0.0398212 0.0399097	0.0314235 0.0320396	0.0211296 0.0200396	0.0650142 0.0650319	0.0961669 0.0964693	0.138697 0.139073	0.149804 0.149169
4:0	8	0	0.0487607 0.0479097	0.040363 0.0400396	0.0157118 0.0120396	0.0598673 0.0583209	0.0912908 0.0915835	0.134905 0.134805	0.144928 0.1449
5:0	10	0	0.0558039 0.0559097	0.0493025 0.0480396	0.0108357 0.00403961	0.0517405 0.0503209	0.0866856 0.086135	0.13057 0.130036	0.140051 0.140132
6:0	12	0	0.0642015 0.0638285	0.0549912 0.0559585	0.00406339 0.00395688	0.0436137 0.042402	0.0818096 0.0819971	0.124881 0.124736	0.135175 0.134832
7:0	14	0	0.070703 0.0718889	0.0652851 0.0640189	0.0132737 0.0119569	0.0357578 0.0344012	0.0769335 0.0768838	0.120005 0.119638	0.129216 0.129555
8:0	16	0	0.0750372 0.0757859	0.0720574 0.0710836	0.0205878 0.0195086	0.0284437 0.026848	0.0720574 0.0724425	0.114317 0.114103	0.123798 0.12402
9:0	18	0	0.0812678 0.0812838	0.0788297 0.0786209	0.0273602 0.0268551	0.0195043 0.0195012	0.0666396 0.0650957	0.108899 0.108948	0.118109 0.118006
10:0	20	0	0.0866856 0.0876232	0.0872274 0.0861625	0.0341325 0.0343181	0.0124611 0.0120396	0.0590546 0.0576341	0.104023 0.10413	0.113233 0.113107
11:0	22	0	0.0926453 0.0937566	0.0926453 0.0909356	0.0414466 0.0423193	0.00514696 0.00403961	0.0484898 0.0496341	0.0964378 0.0962227	0.104565 0.104776
12:0	24	0	0.0994176 0.0996297	0.0975213 0.0971342	0.0463226 0.0503193	0.00758499 0.00403961	0.0430719 0.0416341	0.0874983 0.0876398	0.0956251 0.0954623
13:0	26	0	0.107003 0.10708	0.102939 0.102978	0.0528241 0.0583193	0.0154409 0.0120396	0.0371123 0.0336319	0.0828931 0.0828122	0.0904781 0.0905752
14:0	28	0	0.112962 0.112587	0.107815 0.108068	0.0593255 0.0594387	0.0197752 0.0188597	0.0279019 0.026808	0.0780171 0.0780212	0.083164 0.0831513
15:0	30	0	0.117838 0.118228	0.114588 0.114025	0.0639307 0.0639654	0.0241094 0.0257614	0.0195043 0.0199094	0.0734119 0.0718885	0.0777462 0.0798885
16:0	32	0	0.123527 0.123632	0.120818 0.120661	0.0698903 0.0699005	0.0306109 0.0336337	0.0121902 0.0120396	0.0660978 0.0644134	0.0715156 0.0724134
17:0	34	0	0.128403 0.128399	0.125965 0.125692	0.0761208 0.0762514	0.0398212 0.0416341	0.00785589 0.00403961	0.0574292 0.0562641	0.0658269 0.0642641
18:0	36	0	0.131383 0.131385	0.129216 0.129256	0.0804551 0.0804631	0.0484898 0.0489864	0.0037925 0.00339103	0.0493025 0.0475597	0.0574292 0.0555597
19:0	38	0	0.13653 0.136535	0.132196 0.132187	0.0842476 0.084279	0.055533 0.0559716	0.0102939 0.0103762	0.0398212 0.0398283	0.0482189 0.0478283
20:0	40	0	0.141948 0.141955	0.135988 0.135984	0.088311 0.0883594	0.0674523 0.0663202	0.0186916 0.0182818	0.0325071 0.0319278	0.0398212 0.0399278
21:0	42	0	0.145198 0.1452	0.138697 0.138686	0.0937288 0.0937906	0.0723283 0.0723249	0.0254639 0.0261688	0.0241094 0.0240396	0.0319653 0.0320396
22:0	44	0	0.149533 0.149536	0.141948 0.141948	0.0969795 0.0969802	0.0769335 0.0769696	0.032778 0.0332649	0.0162536 0.0160396	0.0232968 0.0240396
23:0	46	0	0.153054 0.153056	0.146553 0.146547	0.101314 0.101607	0.0828931 0.0828429	0.0390085 0.0412649	0.00839767 0.00803961	0.0162536 0.0160396

Tabella 3-8 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

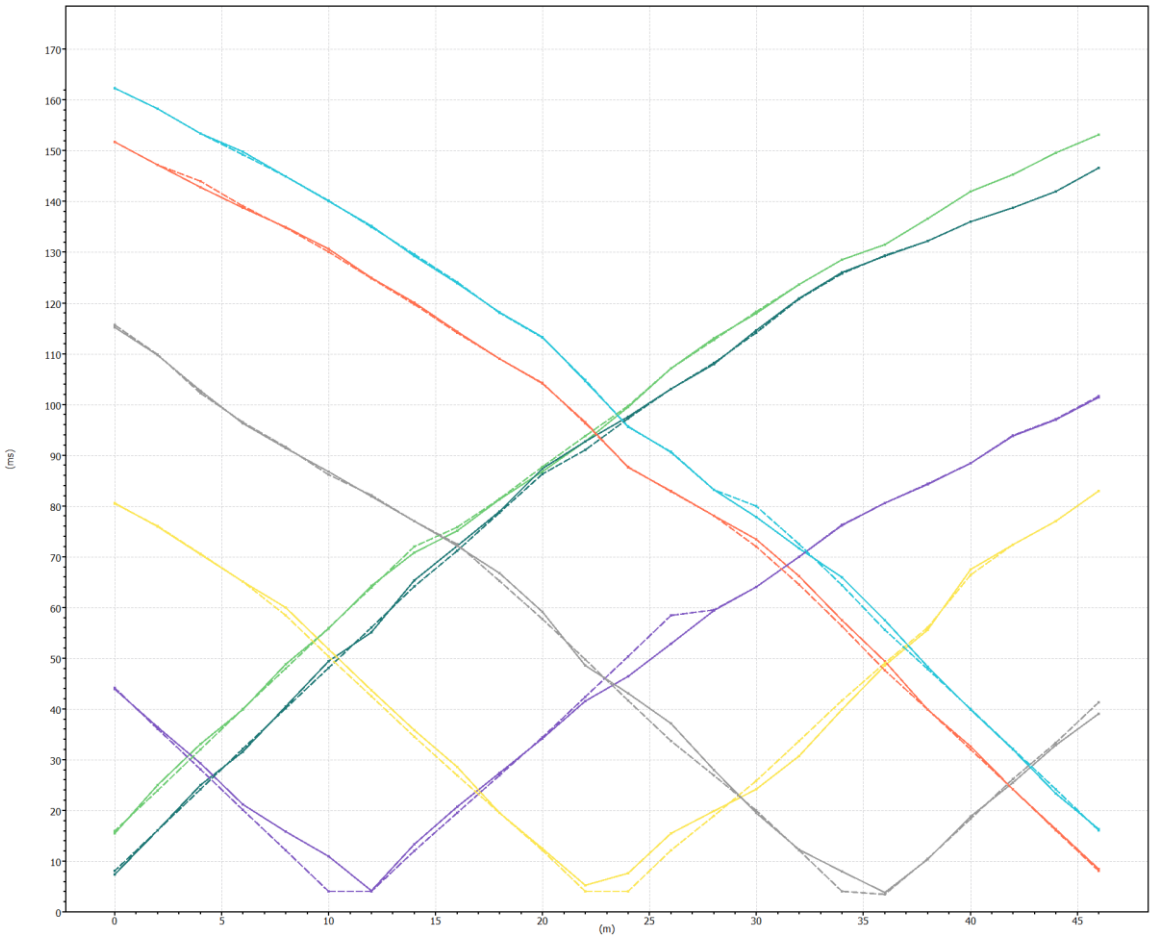


Figura 3-15 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

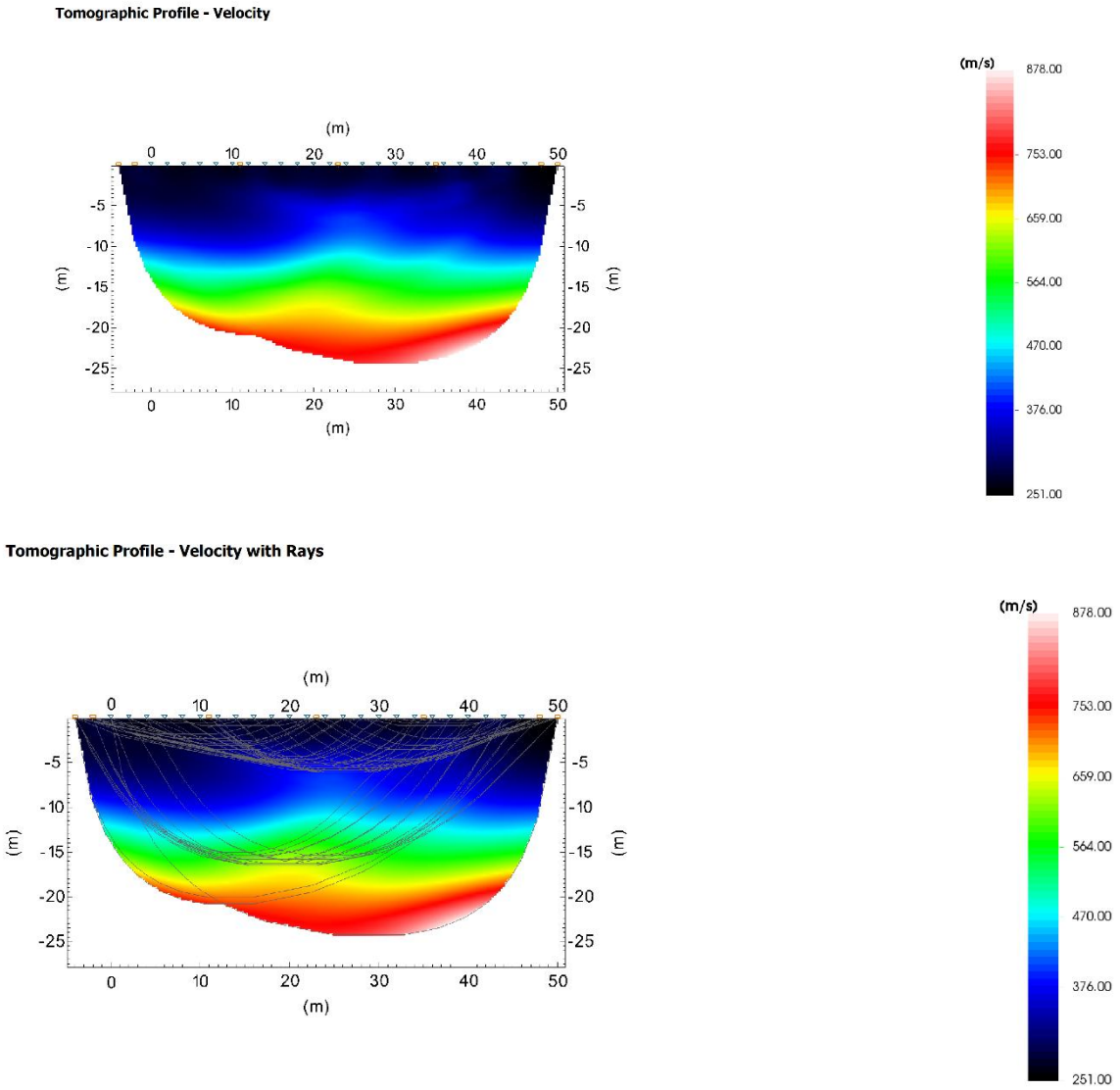


Figura 3-16- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.5 TS 5

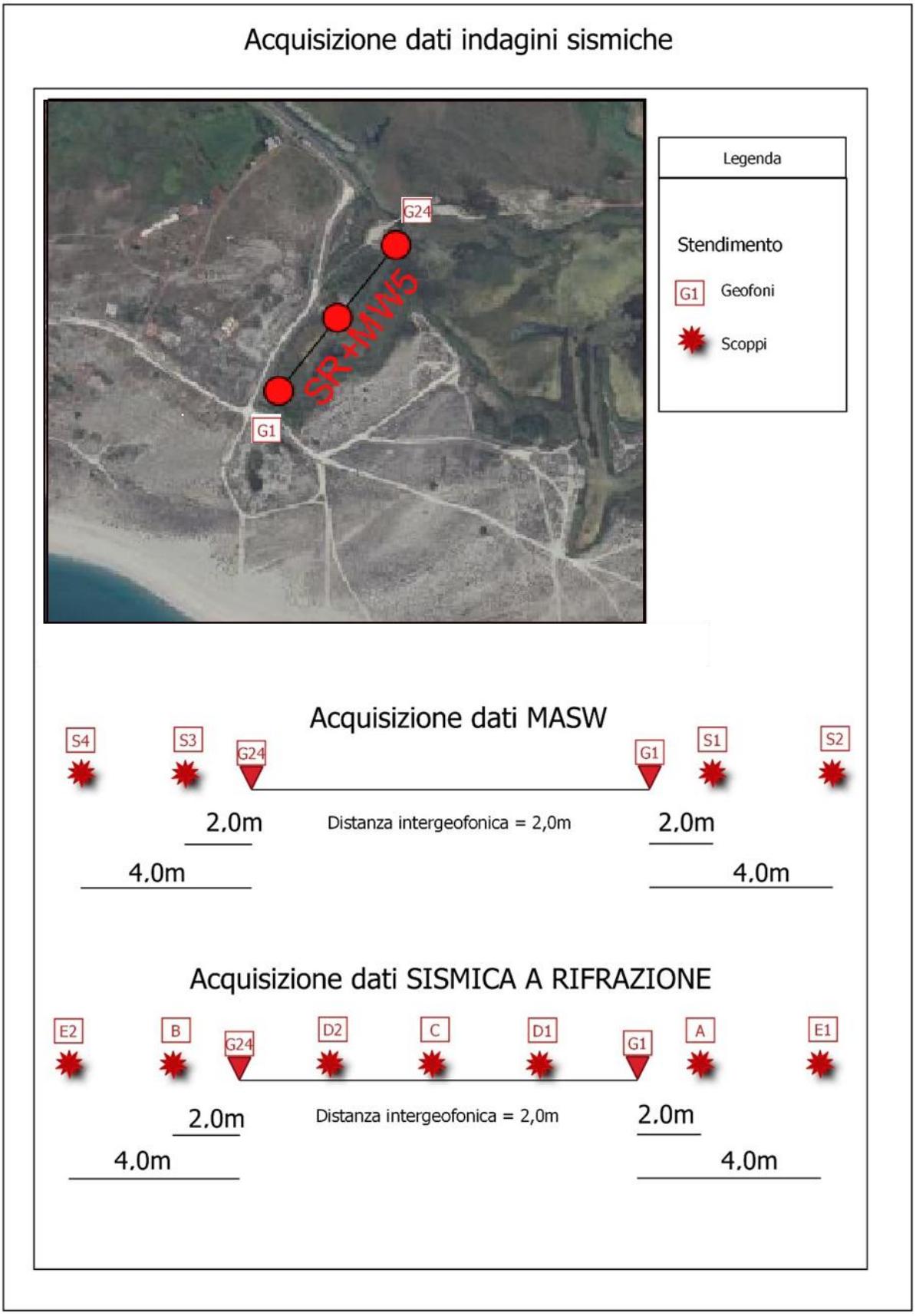


Figura 3-17 – Ubicazione TS 5 e schema di acquisizione dati.

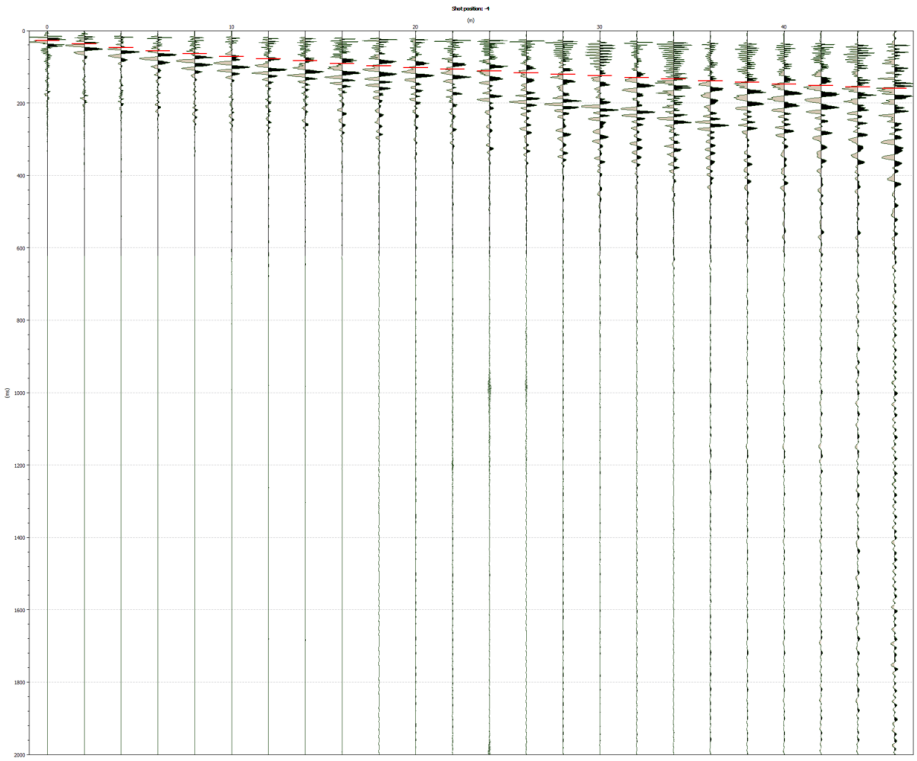
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

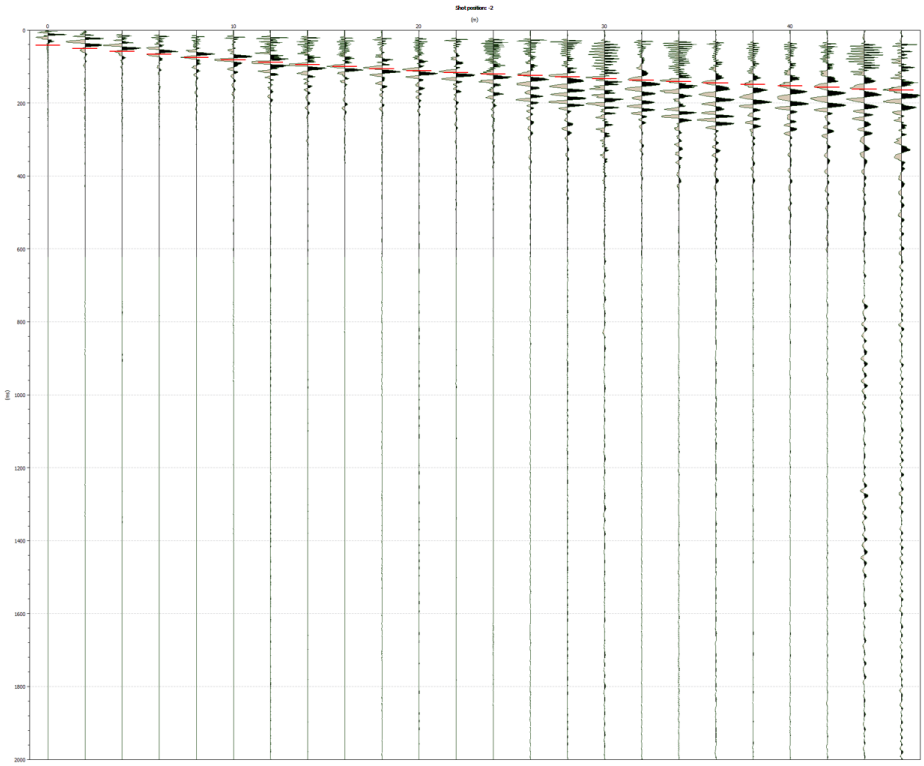
Tabella 3-9 – Posizione degli scoppi TS5

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

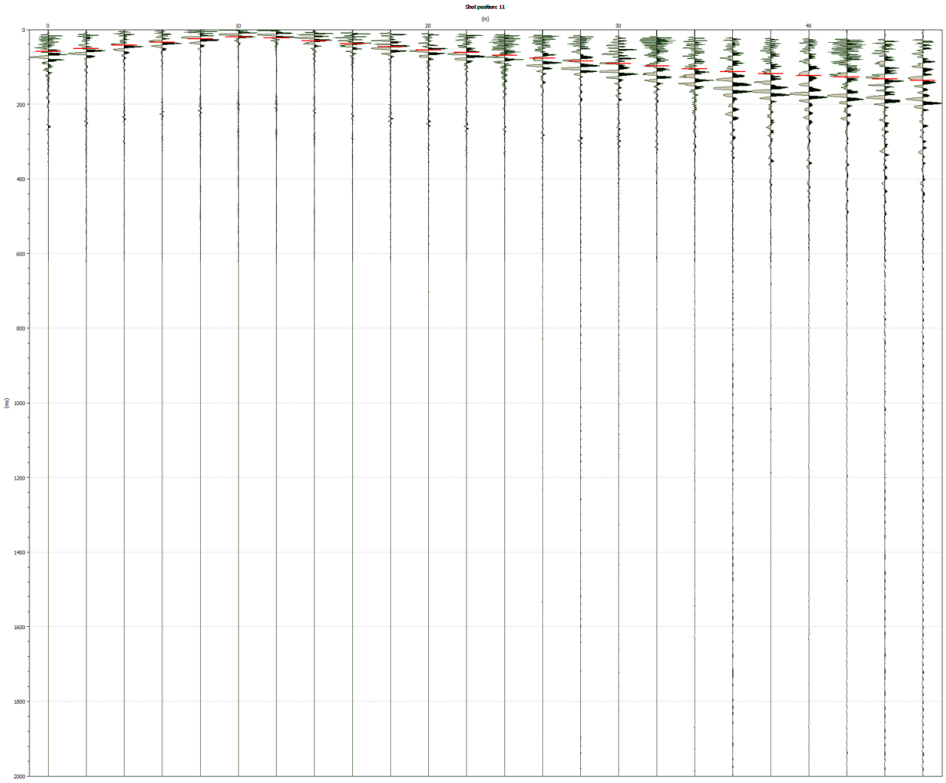
SCOPPIO E1



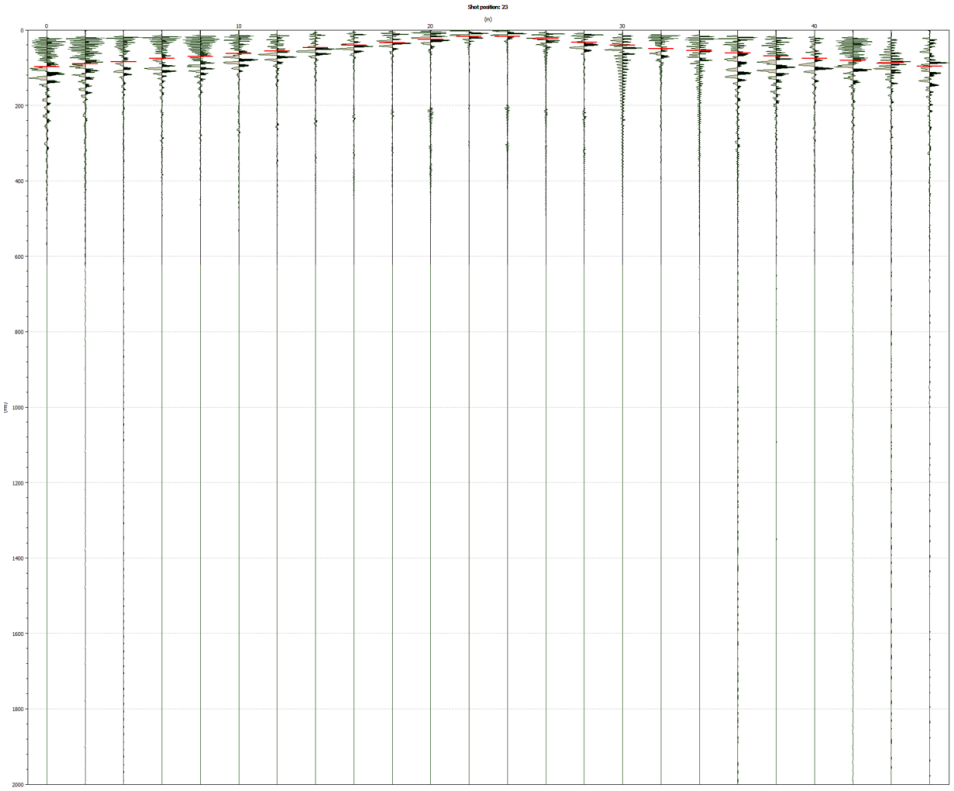
SCOPPIO A



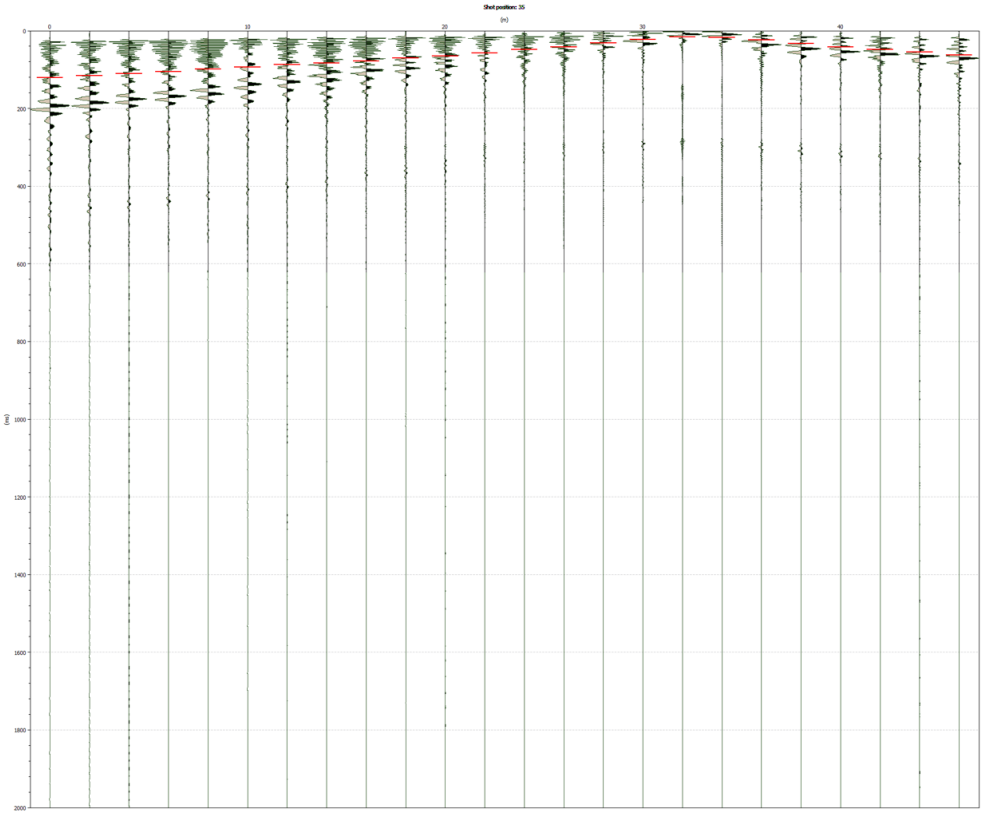
SCOPPIO D1



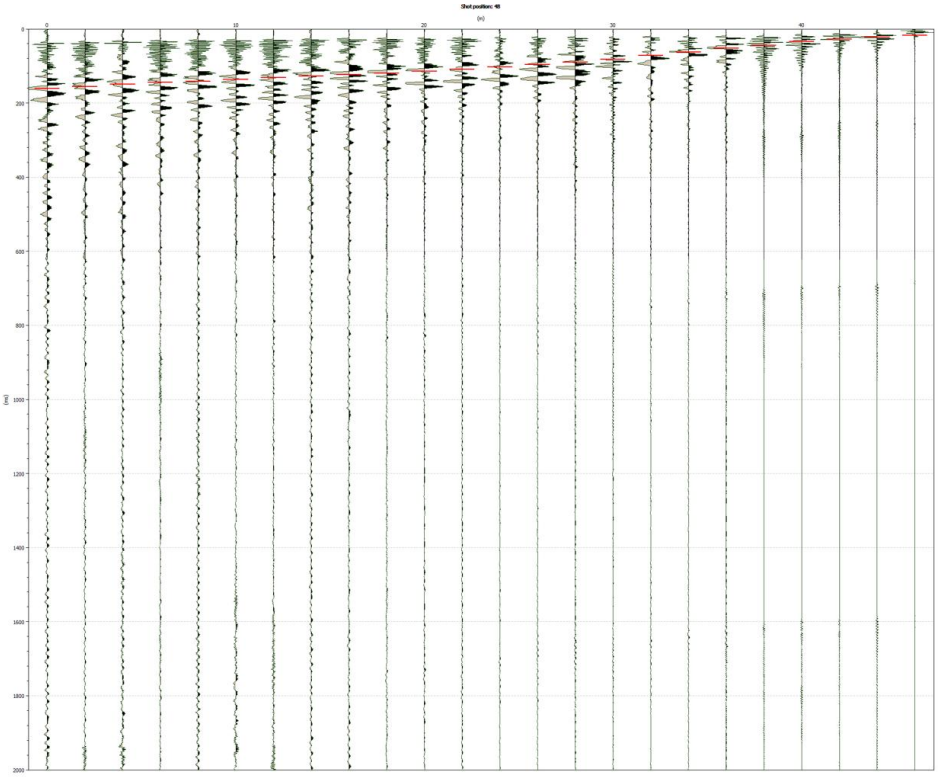
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

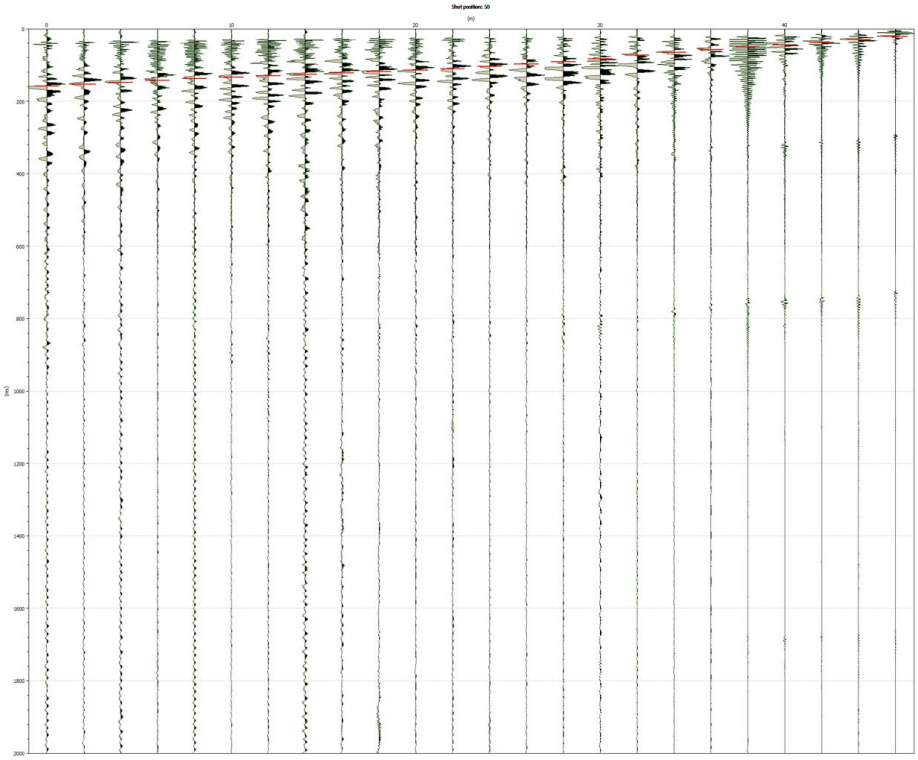


Figura 3-18-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0215664 0.0160396	0.0124858 0.00803961	0.0522605 0.0520396	0.187889 0.0934259	0.237246 0.238081	0.289092 0.287373	0.305215 0.289581
1:0	2	0	0.0442679 0.0240396	0.0249716 0.0160396	0.0468685 0.0440396	0.178349 0.0852278	0.231439 0.238388	0.280382 0.28768	0.295501 0.289888
2:0	4	0	0.0635641 0.0320396	0.0431328 0.0240396	0.0369141 0.0360396	0.16798 0.0770298	0.224388 0.227257	0.272916 0.276548	0.285359 0.278757
3:0	6	0	0.0783201 0.0400396	0.061294 0.0320396	0.0294484 0.0280396	0.157196 0.0680396	0.216093 0.119044	0.26628 0.275038	0.278308 0.277246
4:0	8	0	0.091941 0.0480396	0.0805902 0.0400396	0.0232269 0.0200396	0.145998 0.0600396	0.205309 0.110846	0.256325 0.26323	0.268353 0.265438
5:0	10	0	0.105562 0.0560396	0.0964813 0.0480396	0.0116134 0.0120396	0.13231 0.0520396	0.195769 0.102731	0.247615 0.247919	0.259643 0.250127
6:0	12	0	0.125993 0.0640396	0.108967 0.0560396	0.0186645 0.00403961	0.119038 0.0440396	0.185815 0.0920396	0.242223 0.240701	0.2472 0.242909
7:0	14	0	0.140749 0.0720396	0.124858 0.0640396	0.0344255 0.00403961	0.104936 0.0360396	0.172957 0.0840396	0.234757 0.236588	0.239735 0.238797
8:0	16	0	0.1521 0.0800396	0.136209 0.0720396	0.0489423 0.0120396	0.0924927 0.0280396	0.160929 0.0760396	0.228536 0.228585	0.230195 0.230793
9:0	18	0	0.164586 0.0891047	0.150965 0.0811047	0.0630444 0.0200396	0.0783907 0.0200396	0.14973 0.0680396	0.218582 0.218953	0.219826 0.221162
10:0	20	0	0.175936 0.0972278	0.164586 0.0892278	0.0800498 0.0280396	0.060141 0.0120396	0.13231 0.0600396	0.209871 0.115696	0.209871 0.210896
11:0	22	0	0.187287 0.105426	0.178207 0.0974259	0.0974699 0.0360396	0.0431356 0.00403961	0.114061 0.0520396	0.201991 0.106078	0.196184 0.115431
12:0	24	0	0.199773 0.113624	0.187287 0.105624	0.111572 0.0440396	0.026545 0.00403961	0.100373 0.0440396	0.19411 0.0977736	0.182082 0.107279
13:0	26	0	0.209989 0.211054	0.198638 0.114003	0.12443 0.0520396	0.0128577 0.0120396	0.0821236 0.0360396	0.183326 0.0880396	0.170883 0.0974259
14:0	28	0	0.219069 0.216565	0.209989 0.21419	0.136873 0.0600396	0.0182497 0.0200396	0.067192 0.0280396	0.170054 0.0800396	0.155952 0.0880396
15:0	30	0	0.23042 0.227372	0.220204 0.224997	0.148486 0.0680396	0.0298631 0.0280396	0.0501866 0.0200396	0.155537 0.0720396	0.139361 0.0800396
16:0	32	0	0.239501 0.237878	0.23042 0.235502	0.161344 0.0760396	0.0385732 0.0360396	0.0331813 0.0120396	0.142679 0.0640396	0.124844 0.0720396
17:0	34	0	0.248581 0.240706	0.239501 0.238331	0.172128 0.0840396	0.0481128 0.0440396	0.0199088 0.00403961	0.128992 0.0560396	0.111987 0.0640396
18:0	36	0	0.259932 0.249728	0.250851 0.247353	0.182912 0.0920396	0.0572377 0.0520396	0.0103691 0.00403961	0.115305 0.0480396	0.0978847 0.0560396
19:0	38	0	0.266742 0.266137	0.258797 0.263762	0.19494 0.10103	0.0667773 0.0600396	0.0149316 0.0120396	0.102447 0.0400396	0.0871008 0.0480396
20:0	40	0	0.278093 0.279378	0.270148 0.277003	0.204894 0.110236	0.0792202 0.0680396	0.0240564 0.0200396	0.0904189 0.0320396	0.0754873 0.0400396
21:0	42	0	0.283768 0.283519	0.280363 0.281144	0.216508 0.118391	0.0912484 0.0760396	0.0315222 0.0280396	0.0763169 0.0240396	0.0618001 0.0320396
22:0	44	0	0.292849 0.291361	0.288309 0.288986	0.225218 0.234096	0.100788 0.0840396	0.0377437 0.0360396	0.0634591 0.0160396	0.0476981 0.0240396
23:0	46	0	0.3042 0.290861	0.298524 0.288486	0.235587 0.233596	0.114475 0.0920396	0.0439652 0.0440396	0.0497719 0.00803961	0.0385732 0.0160396

Tabella 3-10 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

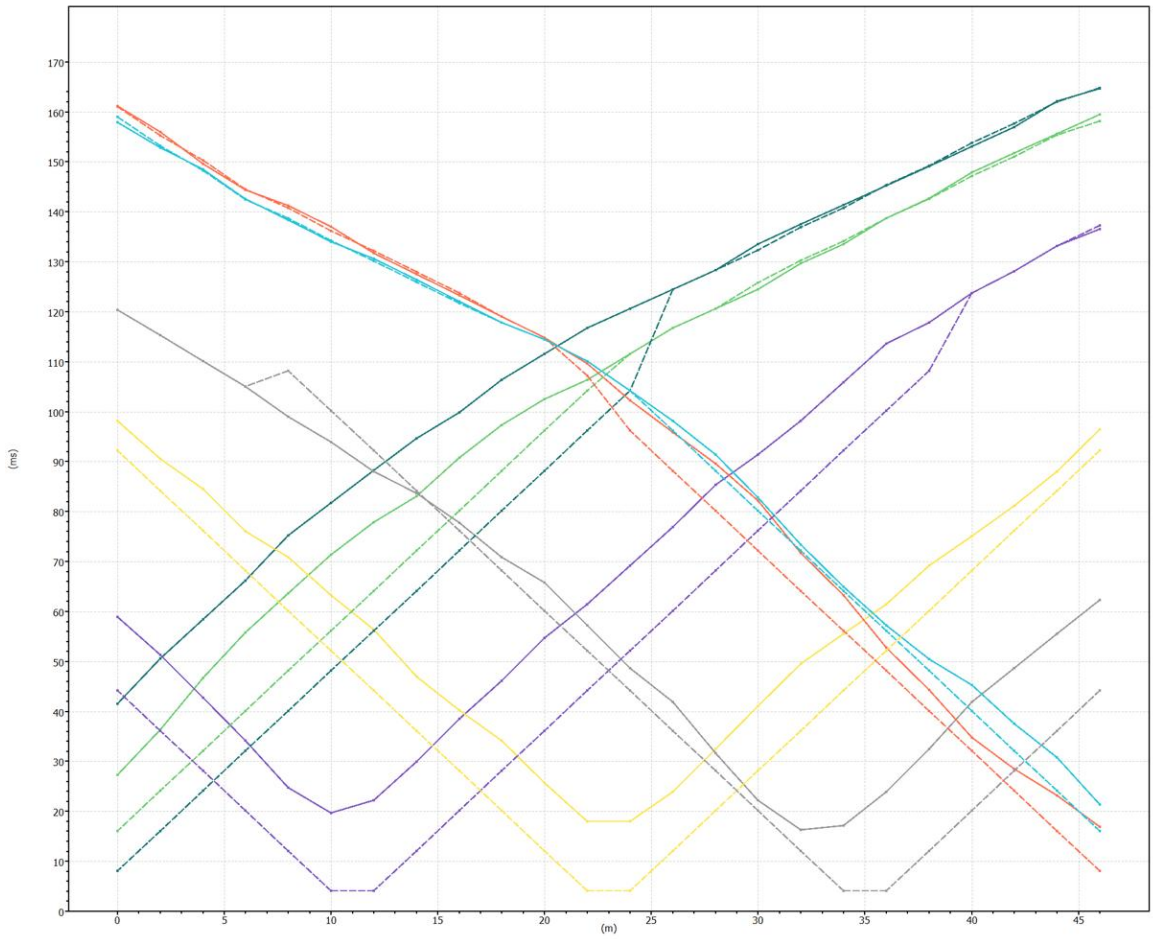


Figura 3-19 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

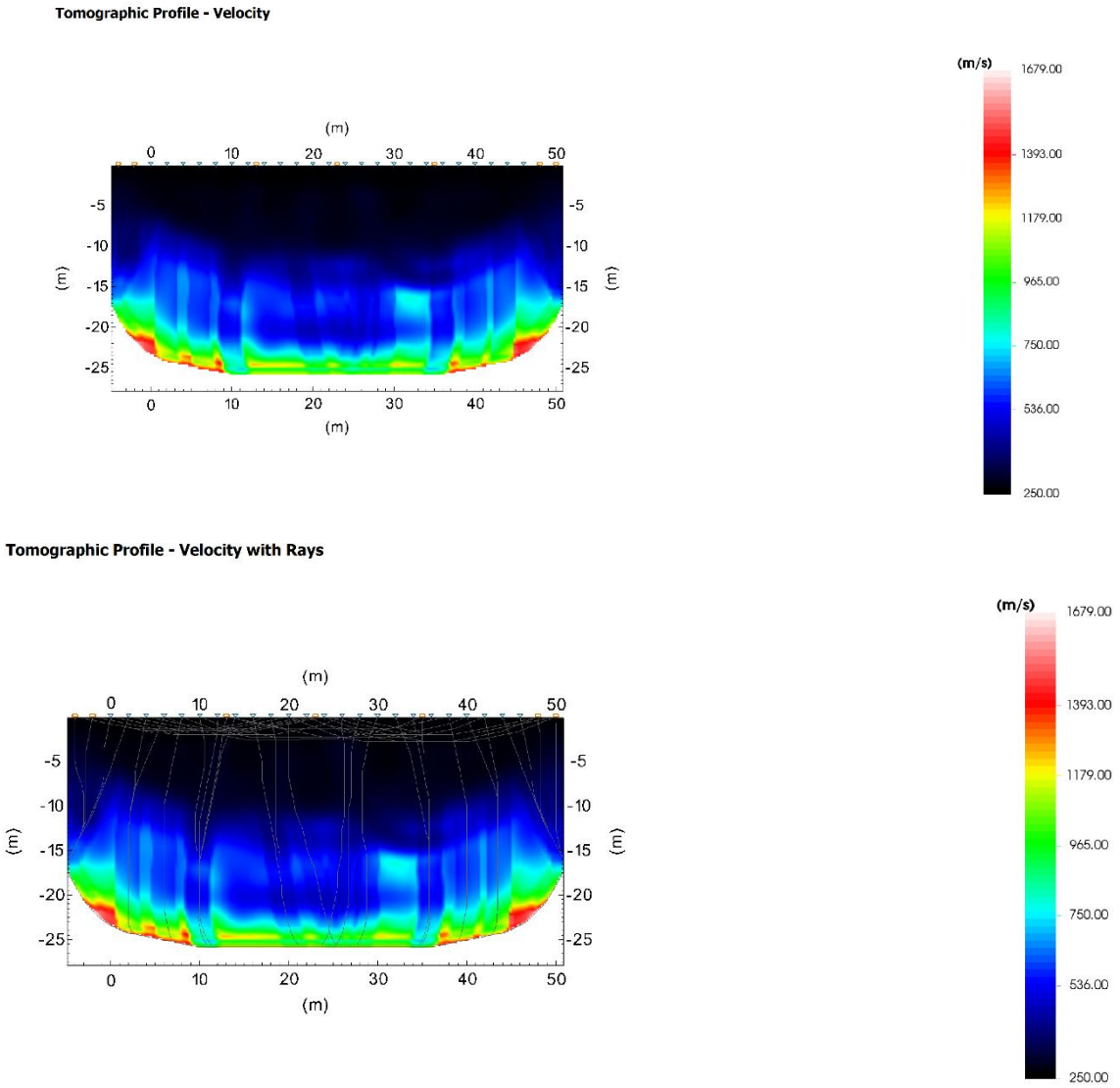


Figura 3-20- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.6 TS 6

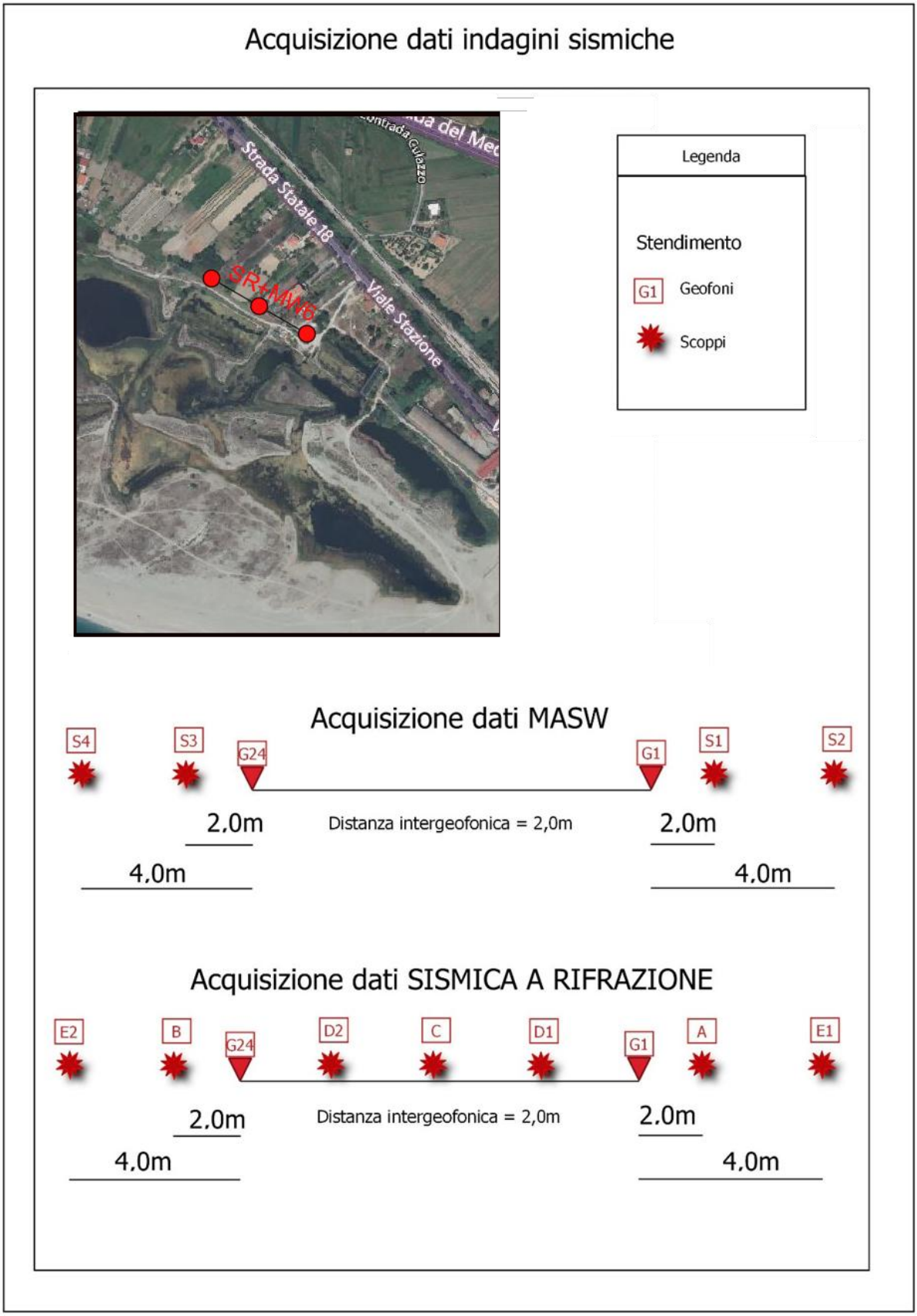


Figura 3-21 – Ubicazione TS 6 e schema di acquisizione dati.

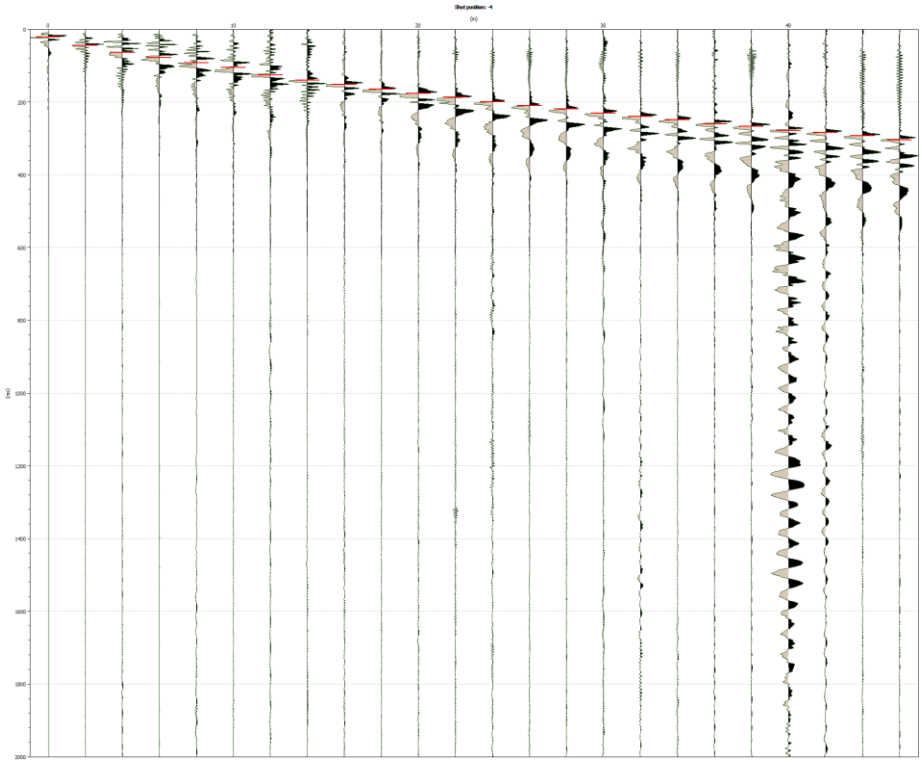
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

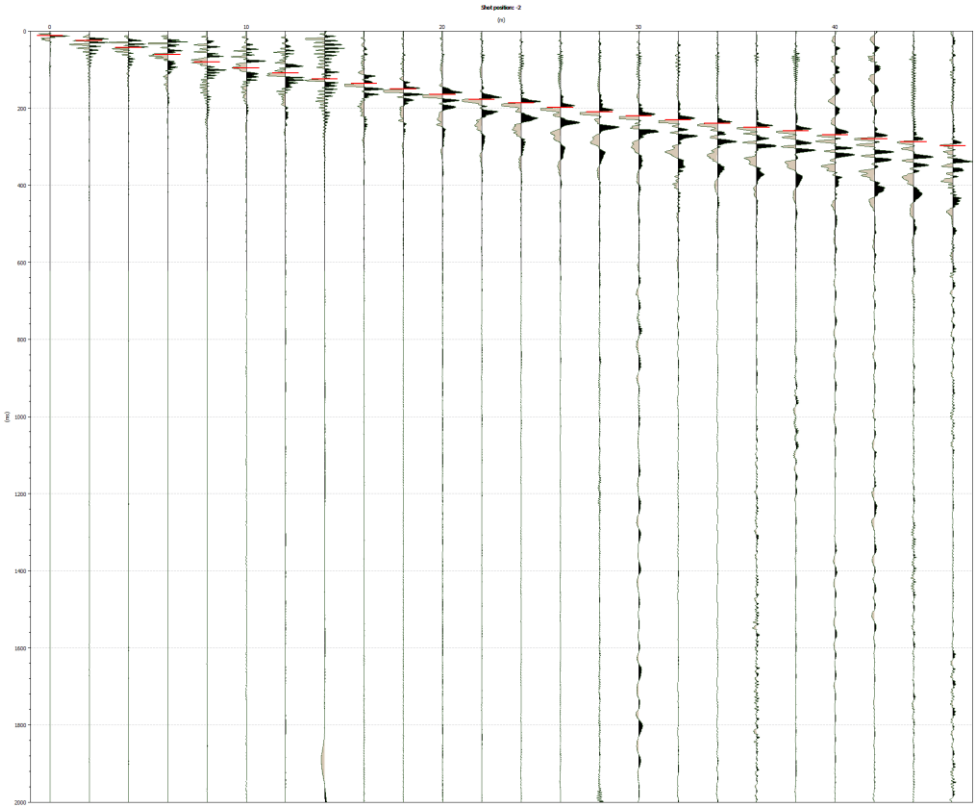
Tabella 3-11 – Posizione degli scoppi TS6

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

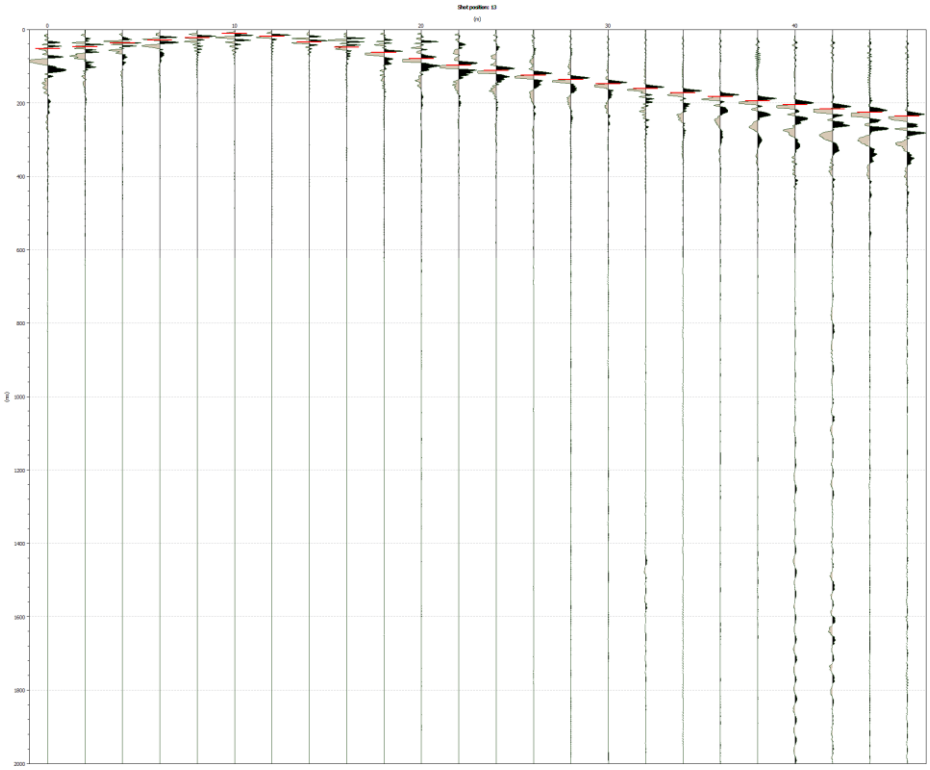
SCOPPIO E1



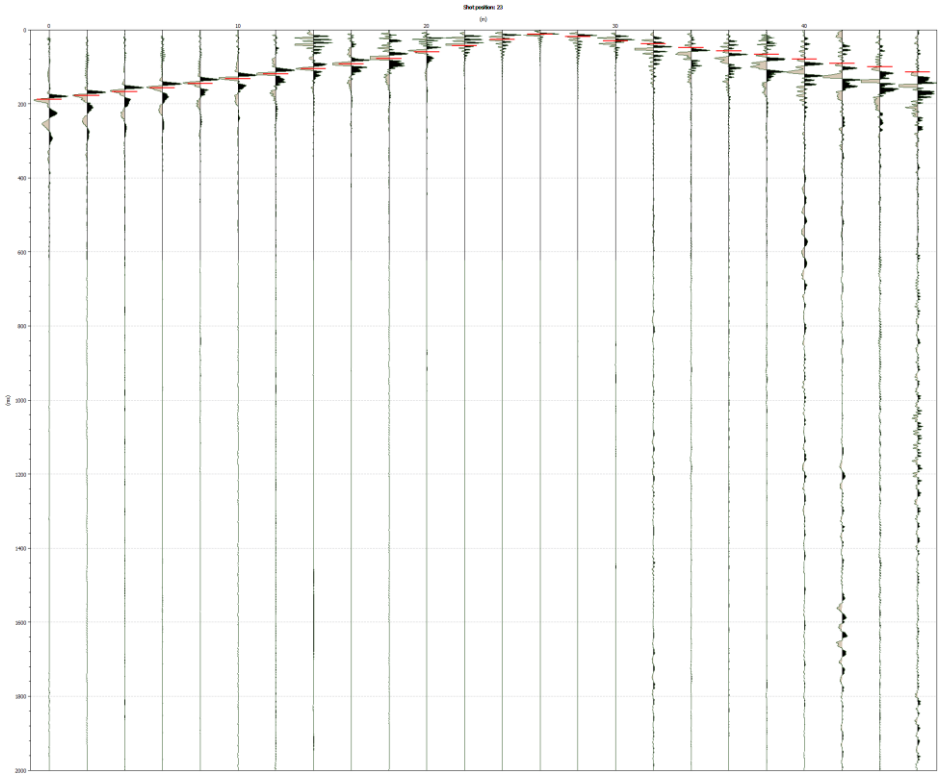
SCOPPIO A



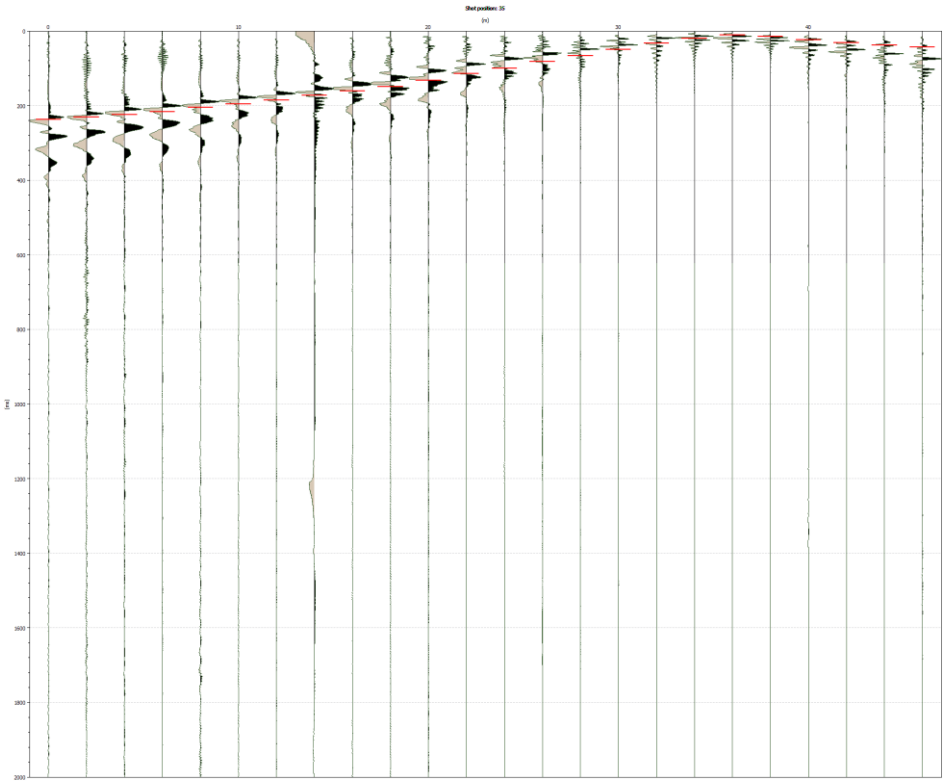
SCOPPIO D1



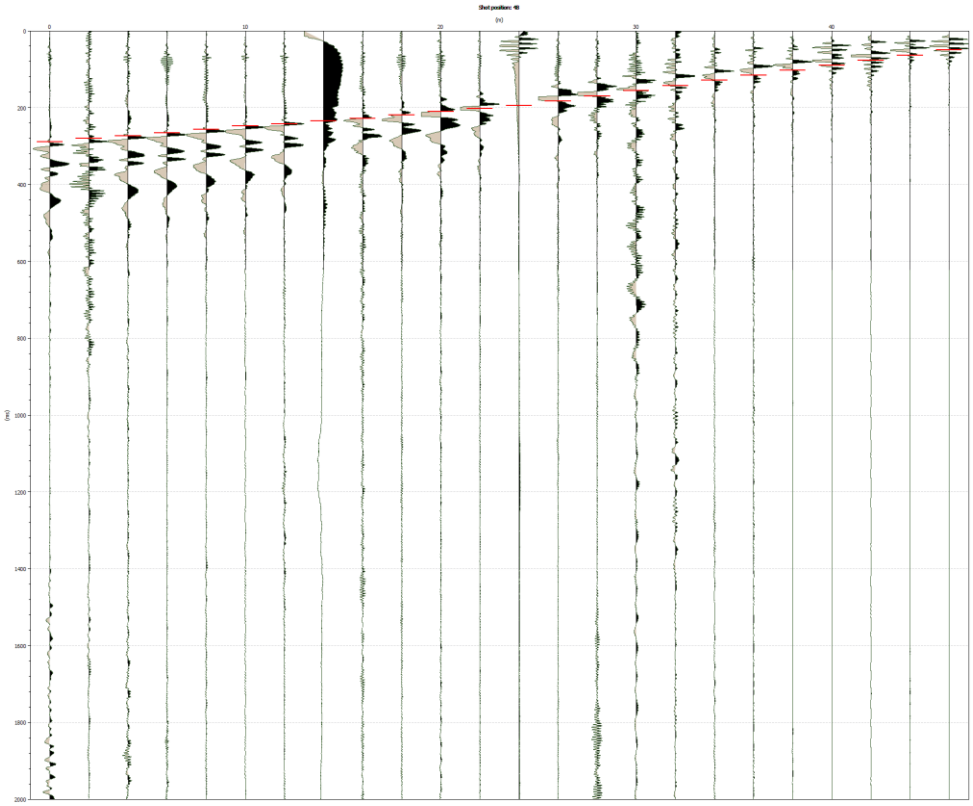
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

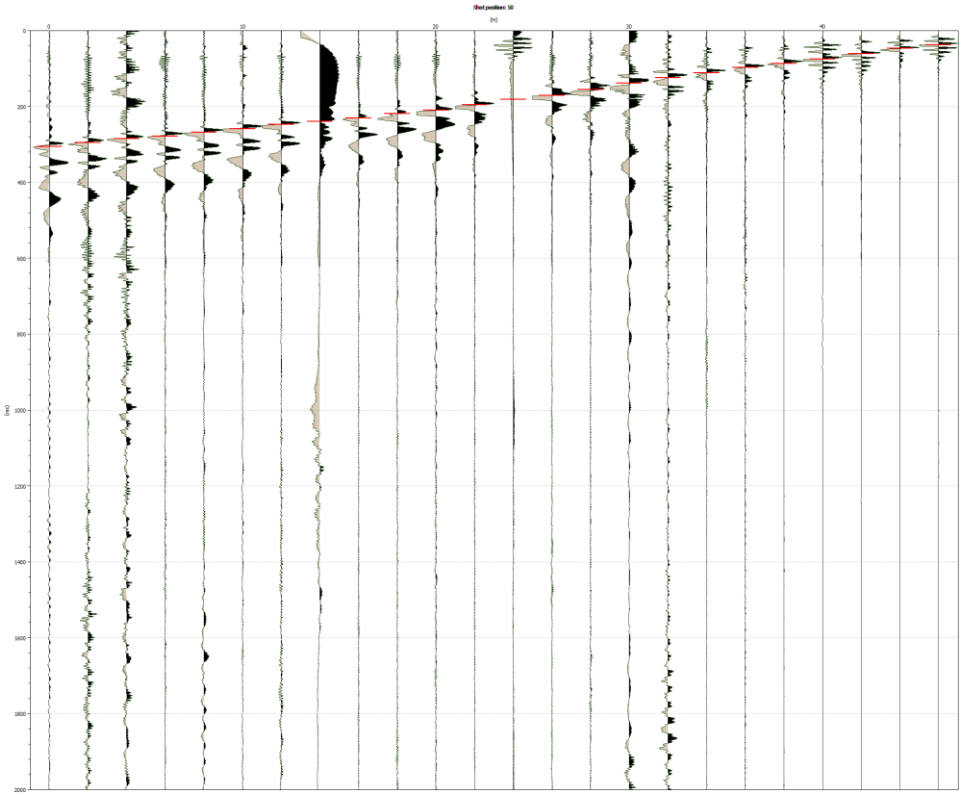


Figura 3-22-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0215664 0.0160396	0.0124858 0.00803961	0.0522605 0.0520396	0.187889 0.0920396	0.237246 0.14004	0.289092 0.291837	0.305215 0.30109
1:0	2	0	0.0442679 0.0240396	0.0249716 0.0160396	0.0468685 0.0440396	0.178349 0.0840396	0.231439 0.13204	0.280382 0.242377	0.295501 0.296048
2:0	4	0	0.0635641 0.0320396	0.0431328 0.0240396	0.0369141 0.0360396	0.16798 0.0760396	0.224388 0.12404	0.272916 0.23419	0.285359 0.253107
3:0	6	0	0.0783201 0.0400396	0.061294 0.0320396	0.0294484 0.0280396	0.157196 0.0680396	0.216093 0.11604	0.26628 0.17643	0.278308 0.247449
4:0	8	0	0.091941 0.0480396	0.0805902 0.0400396	0.0232269 0.0200396	0.145998 0.0600396	0.205309 0.10804	0.256325 0.16004	0.268353 0.176236
5:0	10	0	0.105562 0.0560396	0.0964813 0.0480396	0.0116134 0.0120396	0.13231 0.0520396	0.195769 0.10004	0.247615 0.15204	0.259643 0.168781
6:0	12	0	0.125993 0.0640396	0.108967 0.0560396	0.0186645 0.00403961	0.119038 0.0440396	0.185815 0.0920396	0.242223 0.14404	0.2472 0.15204
7:0	14	0	0.140749 0.0720396	0.124858 0.0640396	0.0344255 0.00403961	0.104936 0.0360396	0.172957 0.0840396	0.234757 0.13604	0.239735 0.14404
8:0	16	0	0.1521 0.0800396	0.136209 0.0720396	0.0489423 0.0120396	0.0924927 0.0280396	0.160929 0.0760396	0.228536 0.12804	0.230195 0.13604
9:0	18	0	0.164586 0.0880396	0.150965 0.0800396	0.0630444 0.0200396	0.0783907 0.0200396	0.14973 0.0680396	0.218582 0.12004	0.219826 0.12804
10:0	20	0	0.175936 0.0960396	0.164586 0.0880396	0.0800498 0.0280396	0.060141 0.0120396	0.13231 0.0600396	0.209871 0.11204	0.209871 0.12004
11:0	22	0	0.187287 0.10404	0.178207 0.0960396	0.0974699 0.0360396	0.0431356 0.00403961	0.114061 0.0520396	0.201991 0.10404	0.196184 0.11204
12:0	24	0	0.199773 0.11204	0.187287 0.10404	0.111572 0.0440396	0.026545 0.00403961	0.100373 0.0440396	0.19411 0.0960396	0.182082 0.10404
13:0	26	0	0.209989 0.12004	0.198638 0.11204	0.12443 0.0520396	0.0128577 0.0120396	0.0821236 0.0360396	0.183326 0.0880396	0.170883 0.0960396
14:0	28	0	0.219069 0.12804	0.209989 0.12004	0.136873 0.0600396	0.0182497 0.0200396	0.067192 0.0280396	0.170054 0.0800396	0.155952 0.0880396
15:0	30	0	0.23042 0.13604	0.220204 0.12804	0.148486 0.0680396	0.0298631 0.0280396	0.0501866 0.0200396	0.155537 0.0720396	0.139361 0.0800396
16:0	32	0	0.239501 0.14404	0.23042 0.13604	0.161344 0.0760396	0.0385732 0.0360396	0.0331813 0.0120396	0.142679 0.0640396	0.124844 0.0720396
17:0	34	0	0.248581 0.15204	0.239501 0.14404	0.172128 0.0840396	0.0481128 0.0440396	0.0199088 0.00403961	0.128992 0.0560396	0.111987 0.0640396
18:0	36	0	0.259932 0.16004	0.250851 0.15204	0.182912 0.0920396	0.0572377 0.0520396	0.0103691 0.00403961	0.115305 0.0480396	0.0978847 0.0560396
19:0	38	0	0.266742 0.16804	0.258797 0.16004	0.19494 0.10004	0.0667773 0.0600396	0.0149316 0.0120396	0.102447 0.0400396	0.0871008 0.0480396
20:0	40	0	0.278093 0.212781	0.270148 0.16804	0.204894 0.10804	0.0792202 0.0680396	0.0240564 0.0200396	0.0904189 0.0320396	0.0754873 0.0400396
21:0	42	0	0.283768 0.284255	0.280363 0.232317	0.216508 0.11604	0.0912484 0.0760396	0.0315222 0.0280396	0.0763169 0.0240396	0.0618001 0.0320396
22:0	44	0	0.292849 0.291419	0.288309 0.242859	0.225218 0.12404	0.100788 0.0840396	0.0377437 0.0360396	0.0634591 0.0160396	0.0476981 0.0240396
23:0	46	0	0.3042 0.305181	0.298524 0.297928	0.235587 0.13204	0.114475 0.0920396	0.0439652 0.0440396	0.0497719 0.00803961	0.0385732 0.0160396

Tabella 3-12 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

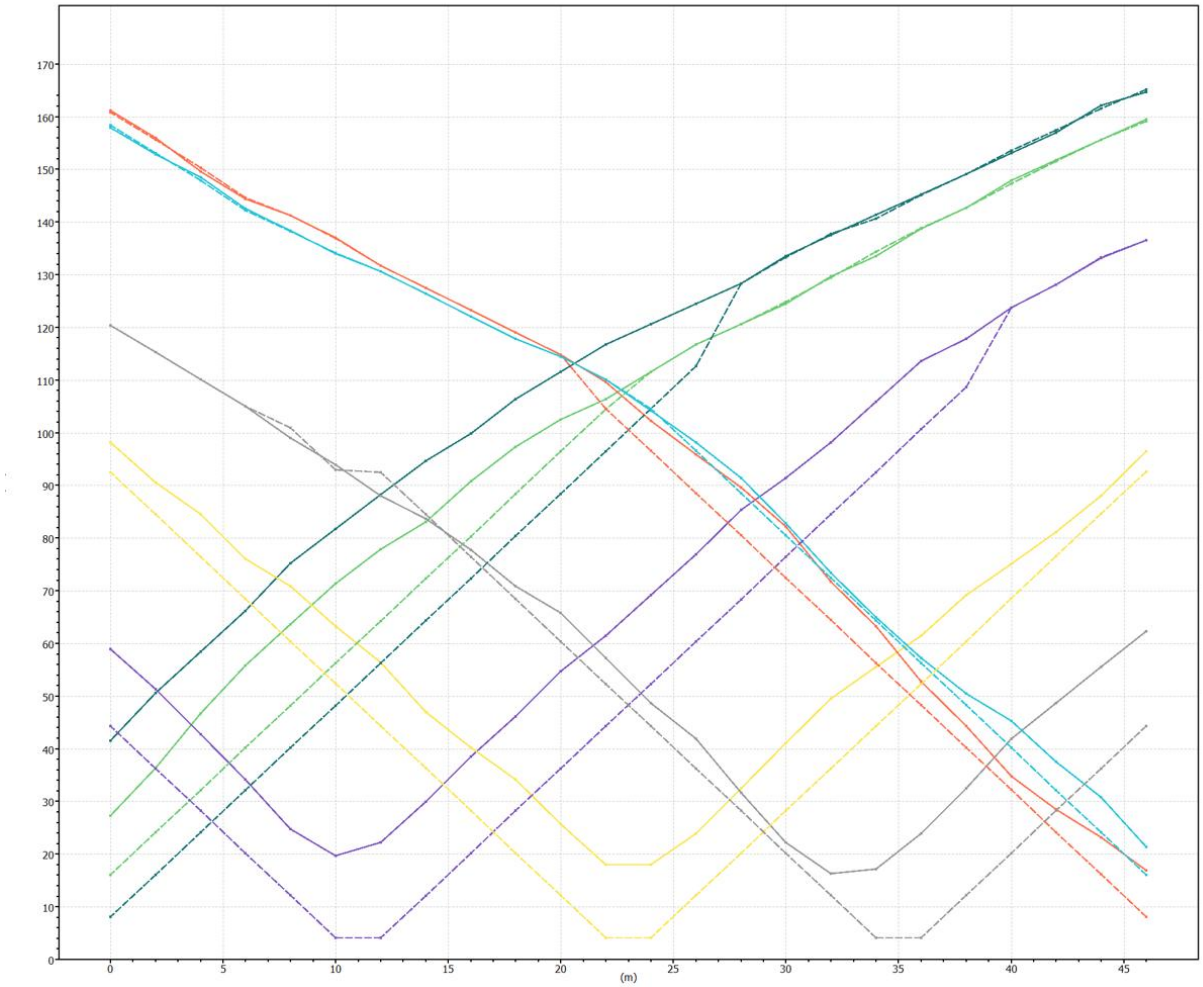


Figura 3-23 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

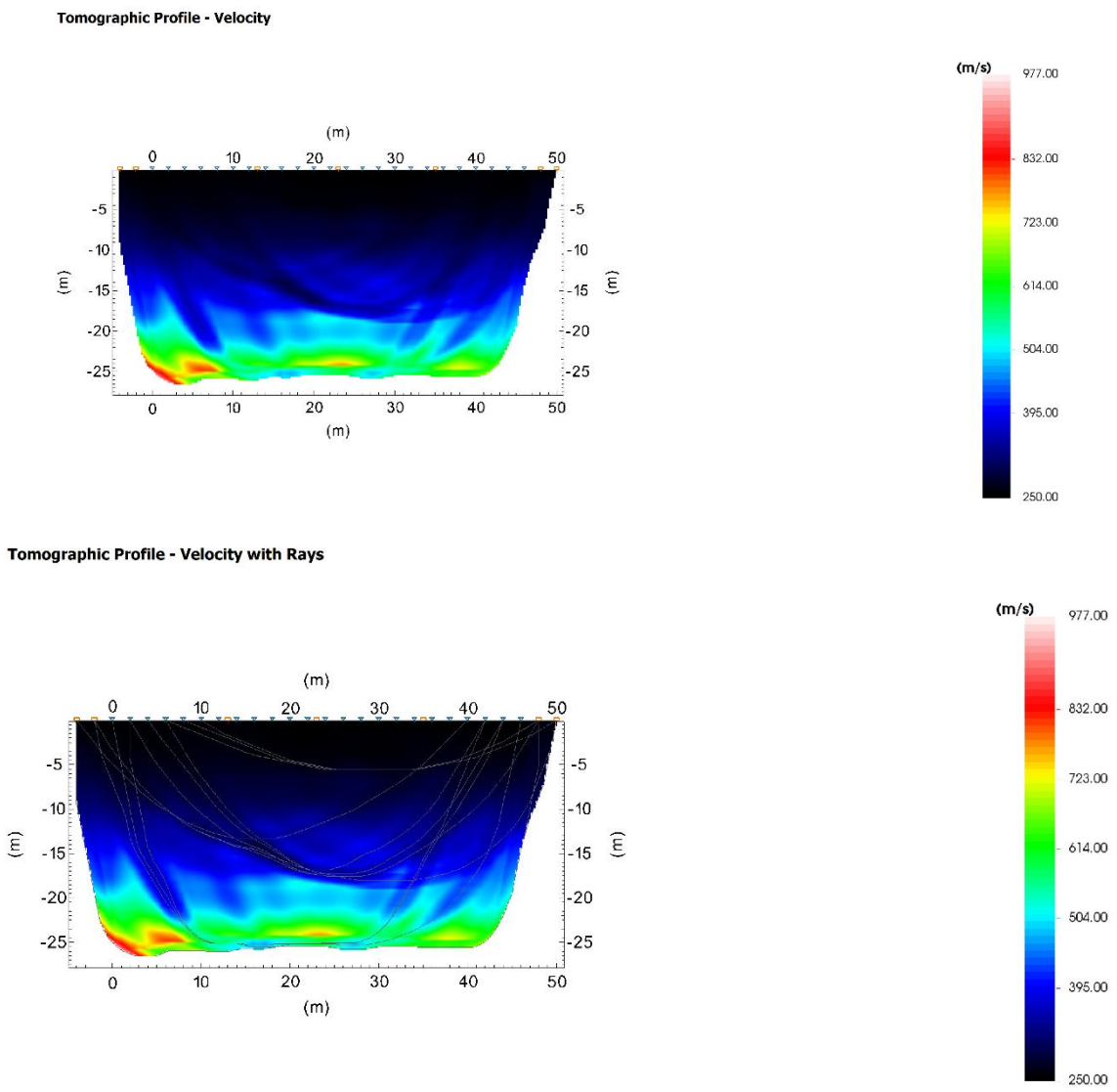


Figura 3-24- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.7 TS 7

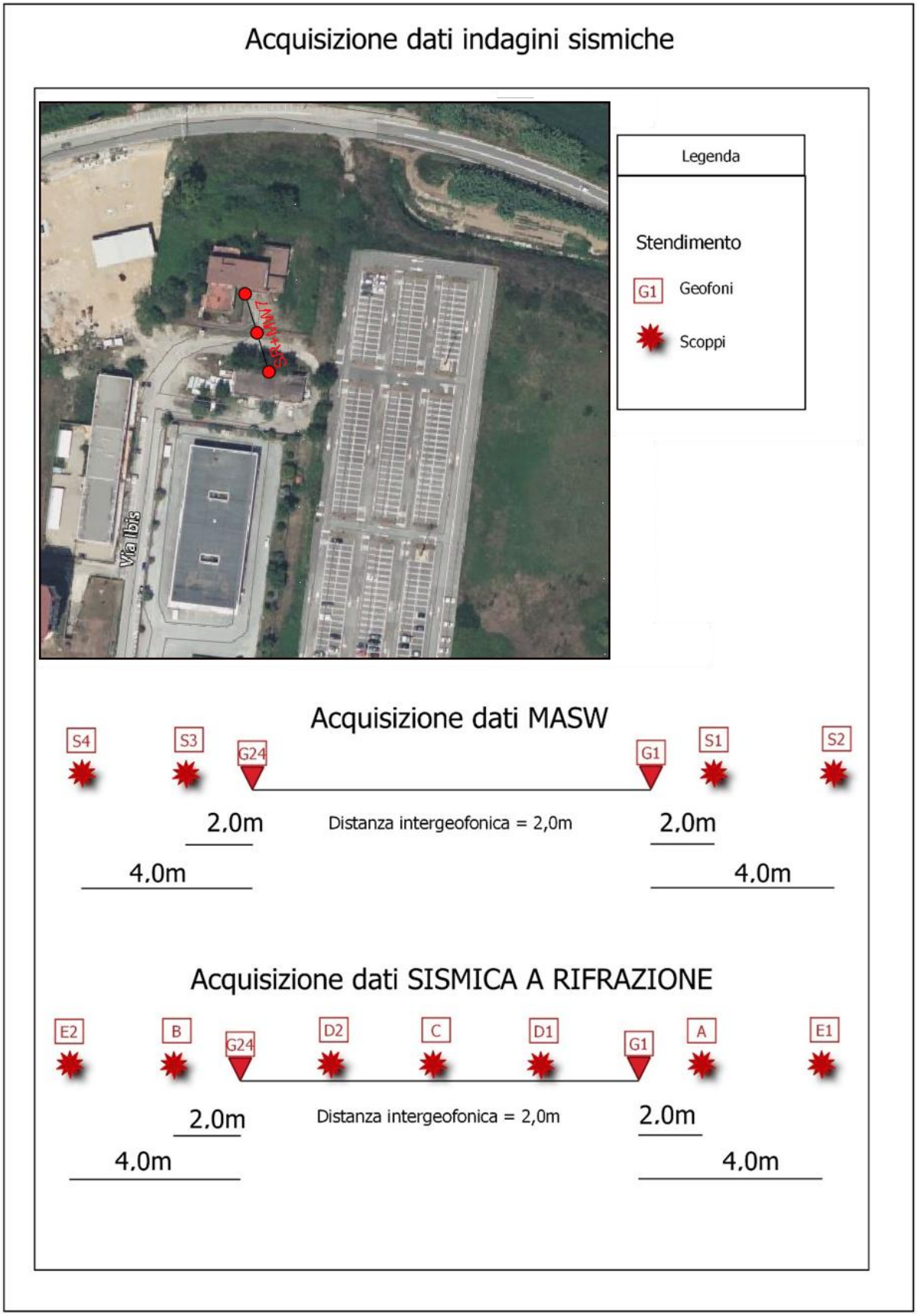


Figura 3-25 – Ubicazione TS 7 e schema di acquisizione dati.

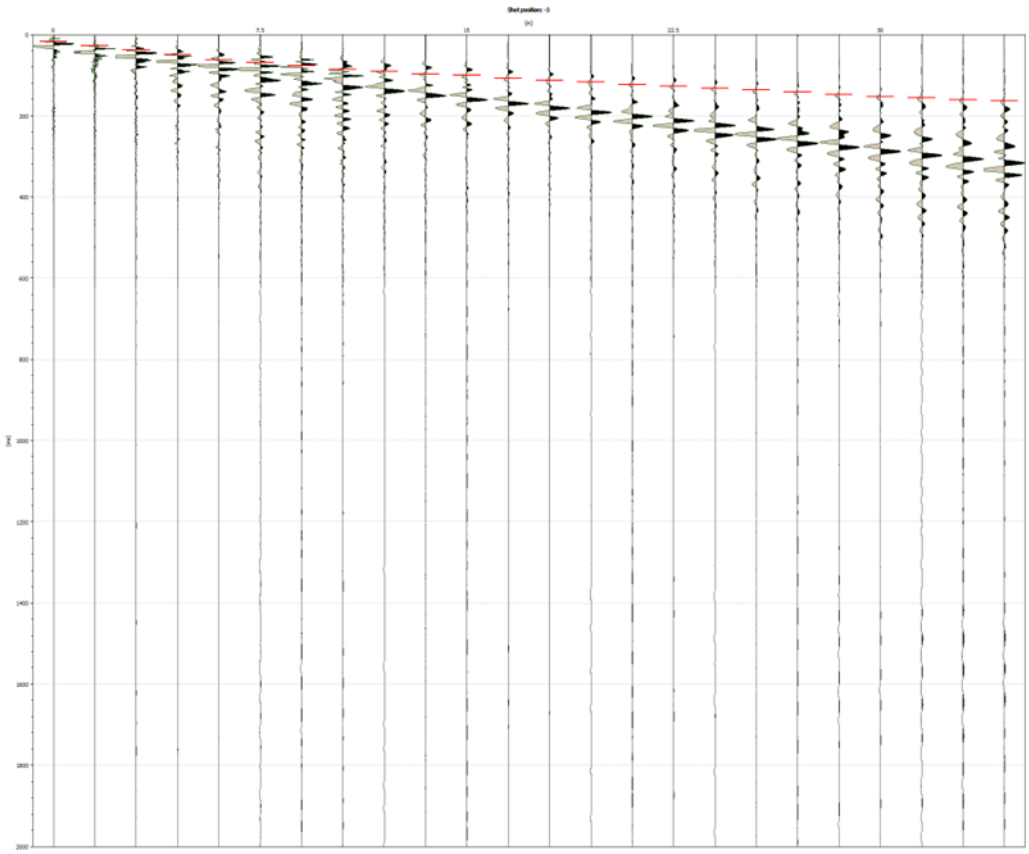
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
48.00	0.00	B
50.00	0.00	E

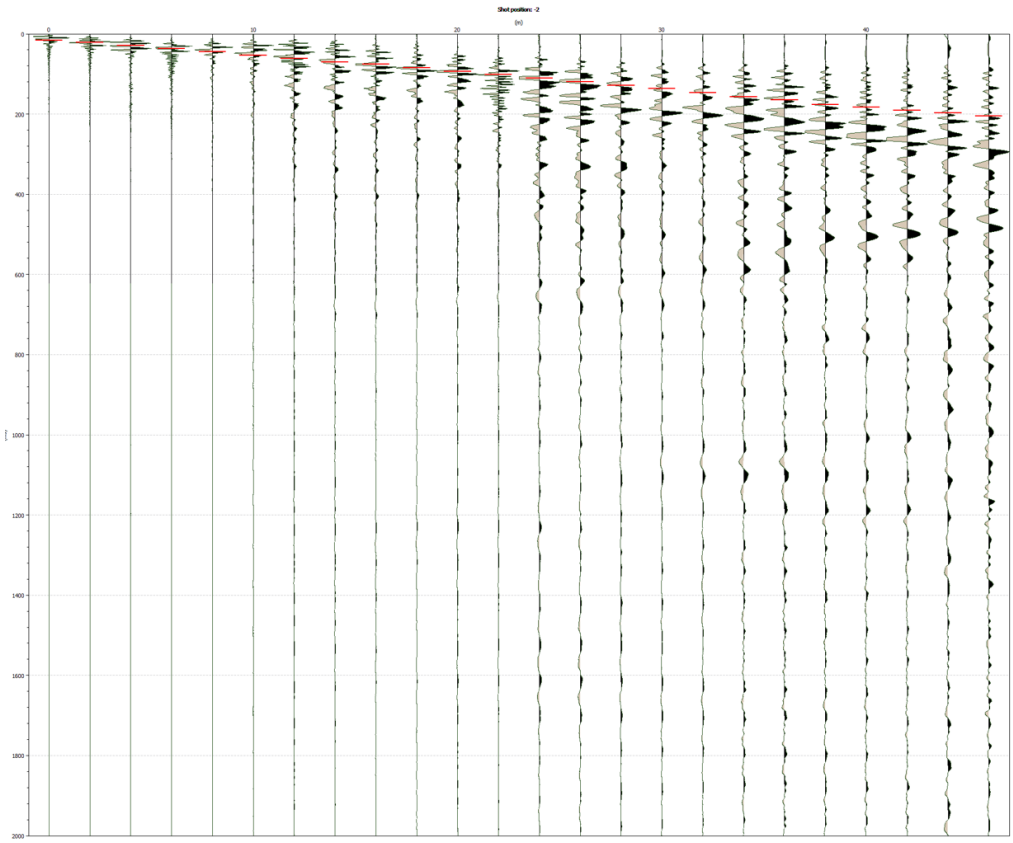
Tabella 3-13 – Posizione degli scoppi TS7

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

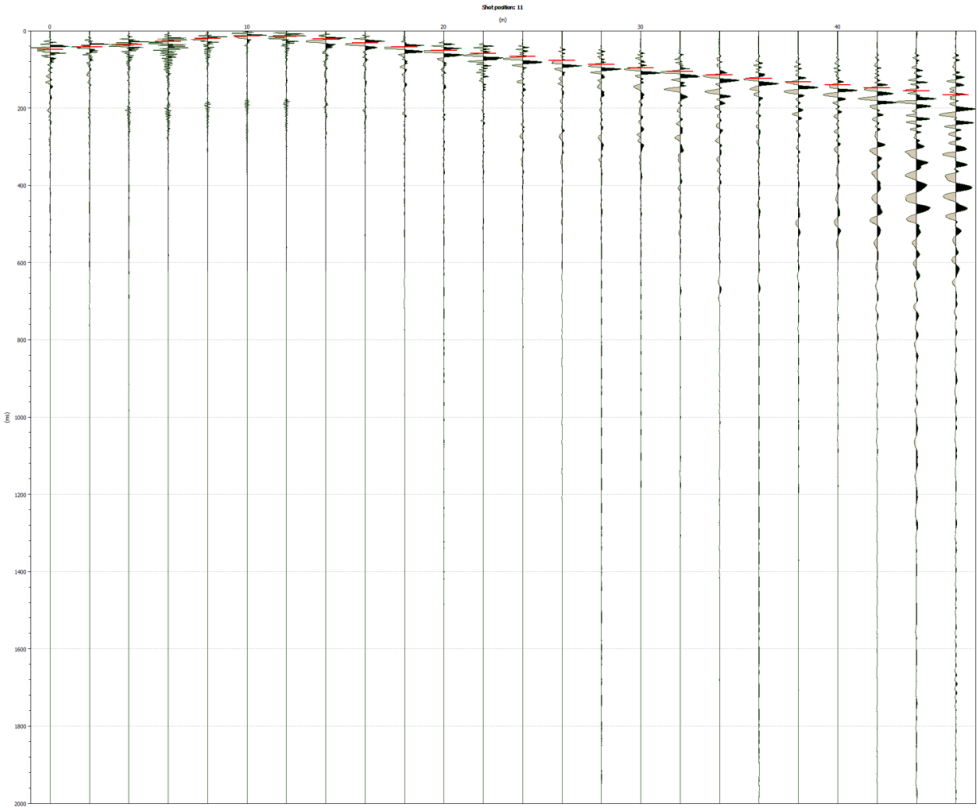
SCOPPIO E1



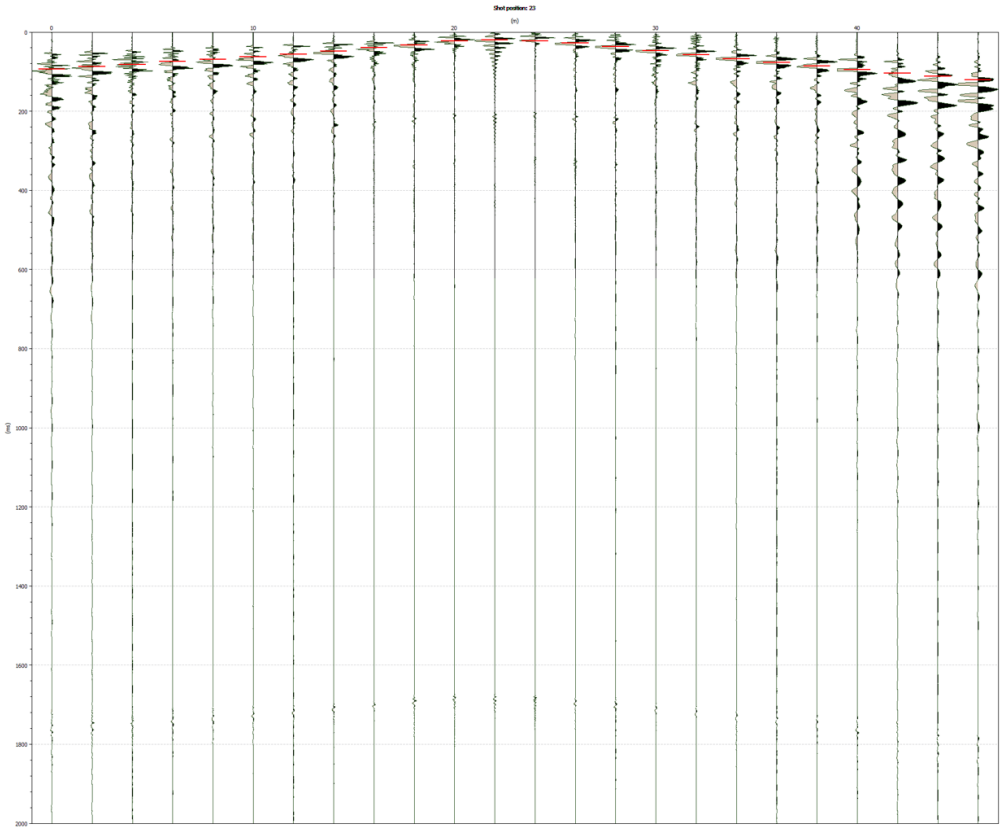
SCOPPIO A



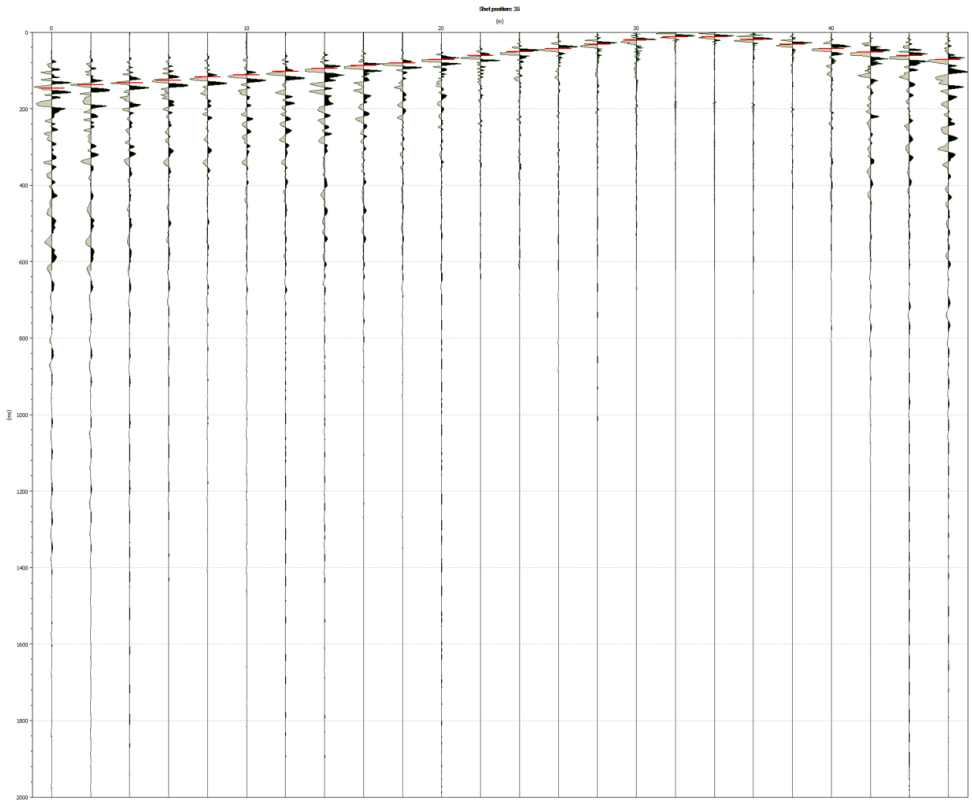
SCOPPIO D1



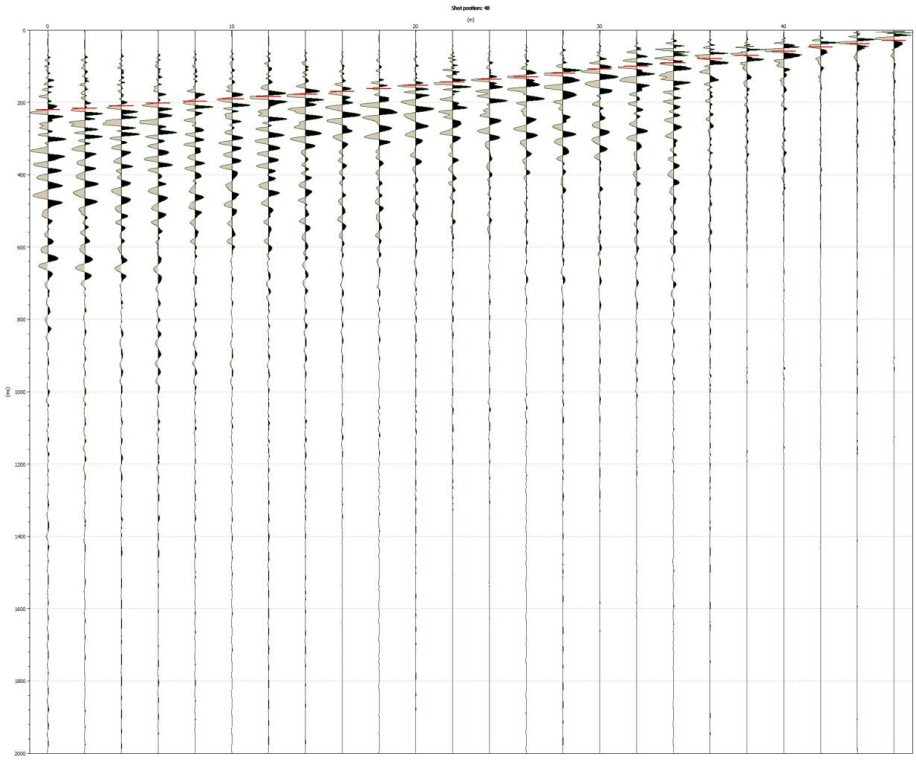
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

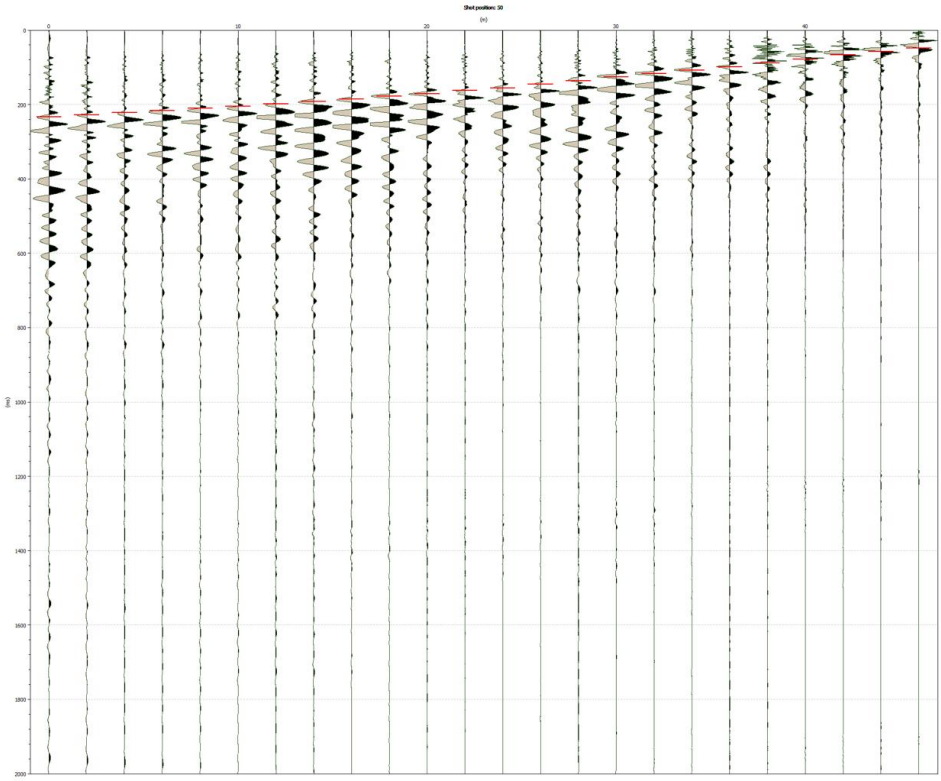


Figura 3-26-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0154409 0.0159691	0.0073141 0.00798976	0.0438846 0.0440396	0.0804551 0.0816847	0.115129 0.115303	0.1517 0.151642	0.162265 0.162264
1:0	2	0	0.0249221 0.0239695	0.0159827 0.0159901	0.0362996 0.0360396	0.0758499 0.07585	0.109711 0.109468	0.147095 0.147261	0.158201 0.158066
2:0	4	0	0.0330489 0.0319695	0.0249221 0.0239901	0.0292564 0.0280396	0.0704321 0.070008	0.102668 0.101907	0.14276 0.144797	0.153325 0.153357
3:0	6	0	0.0398212 0.0399695	0.0314235 0.0319901	0.0211296 0.0200396	0.0650142 0.0654423	0.0961669 0.0967443	0.138697 0.139953	0.149804 0.147953
4:0	8	0	0.0487607 0.0479699	0.040363 0.0399901	0.0157118 0.0120396	0.0598673 0.0595021	0.0912908 0.0918728	0.134905 0.135516	0.144928 0.143516
5:0	10	0	0.0558039 0.0557155	0.0493025 0.0479901	0.0108357 0.00403961	0.0517405 0.0508155	0.0866856 0.087196	0.13057 0.13002	0.140051 0.13802
6:0	12	0	0.0642015 0.0638796	0.0549912 0.0558984	0.00406339 0.00394603	0.0436137 0.0429633	0.0818096 0.0814449	0.124881 0.124269	0.135175 0.132269
7:0	14	0	0.070703 0.0706598	0.0652851 0.0644789	0.0132737 0.011946	0.0357578 0.0354887	0.0769335 0.077087	0.120005 0.120614	0.129216 0.128614
8:0	16	0	0.0750372 0.0751276	0.0720574 0.0717908	0.0205878 0.019946	0.0284437 0.0282743	0.0720574 0.0712369	0.114317 0.115253	0.123798 0.123253
9:0	18	0	0.0812678 0.0812404	0.0788297 0.0785315	0.0273602 0.0274618	0.0195043 0.0194694	0.0666396 0.0661705	0.108899 0.10952	0.118109 0.11752
10:0	20	0	0.0866856 0.0866652	0.0872274 0.0872552	0.0341325 0.0343868	0.0124611 0.0120396	0.0590546 0.0582282	0.104023 0.10452	0.113233 0.11252
11:0	22	0	0.0926453 0.0935775	0.0926453 0.0911394	0.0414466 0.041872	0.00514696 0.00403961	0.0484898 0.0496776	0.0964378 0.0964724	0.104565 0.104472
12:0	24	0	0.0994176 0.0994885	0.0975213 0.0970168	0.0463226 0.0472684	0.00758499 0.00403961	0.0430719 0.0416776	0.0874983 0.0877352	0.0956251 0.0957352
13:0	26	0	0.107003 0.106139	0.102939 0.103667	0.0528241 0.0528089	0.0154409 0.0120396	0.0371123 0.0336748	0.0828931 0.0826938	0.0904781 0.0906938
14:0	28	0	0.112962 0.112735	0.107815 0.107933	0.0593255 0.0583335	0.0197752 0.0187642	0.0279019 0.0269469	0.0780171 0.0766687	0.083164 0.0846687
15:0	30	0	0.117838 0.117907	0.114588 0.114516	0.0639307 0.0639752	0.0241094 0.0257005	0.0195043 0.0200147	0.0734119 0.0716381	0.0777462 0.0796381
16:0	32	0	0.123527 0.123629	0.120818 0.120753	0.0698903 0.0719521	0.0306109 0.0336775	0.0121902 0.0120396	0.0660978 0.0642885	0.0715156 0.0722885
17:0	34	0	0.128403 0.128398	0.125965 0.12569	0.0761208 0.07601	0.0398212 0.0416776	0.00785589 0.00403961	0.0574292 0.0564692	0.0658269 0.0644692
18:0	36	0	0.131383 0.132329	0.129216 0.12832	0.0804551 0.0799254	0.0484898 0.0491524	0.0037925 0.00351366	0.0493025 0.048142	0.0574292 0.056142
19:0	38	0	0.13653 0.136375	0.132196 0.132366	0.0842476 0.0839703	0.055533 0.0563369	0.0102939 0.0106981	0.0398212 0.0400228	0.0482189 0.0480228
20:0	40	0	0.141948 0.141127	0.135988 0.136794	0.088311 0.0879959	0.0674523 0.0642864	0.0186916 0.0186476	0.0325071 0.0316669	0.0398212 0.0396669
21:0	42	0	0.145198 0.145405	0.138697 0.1385	0.0937288 0.0932765	0.0723283 0.0725557	0.0254639 0.0263893	0.0241094 0.023924	0.0319653 0.031924
22:0	44	0	0.149533 0.149165	0.141948 0.142338	0.0969795 0.0990647	0.0769335 0.0767042	0.032778 0.0323395	0.0162536 0.0160396	0.0232968 0.0240396
23:0	46	0	0.153054 0.153212	0.146553 0.146385	0.101314 0.104986	0.0828931 0.0823687	0.0390085 0.0404315	0.00839767 0.00803961	0.0162536 0.0160396

Tabella 3-14 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

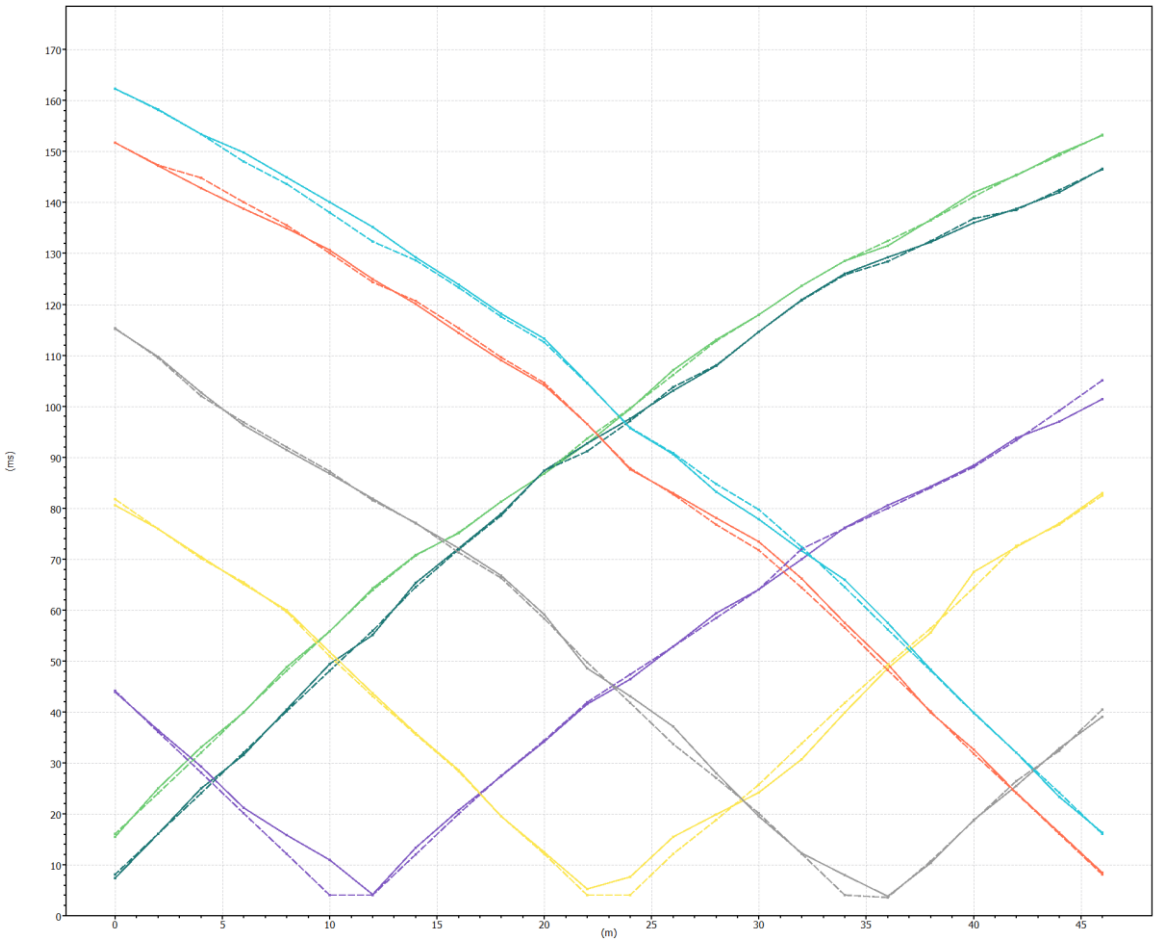


Figura 3-27 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

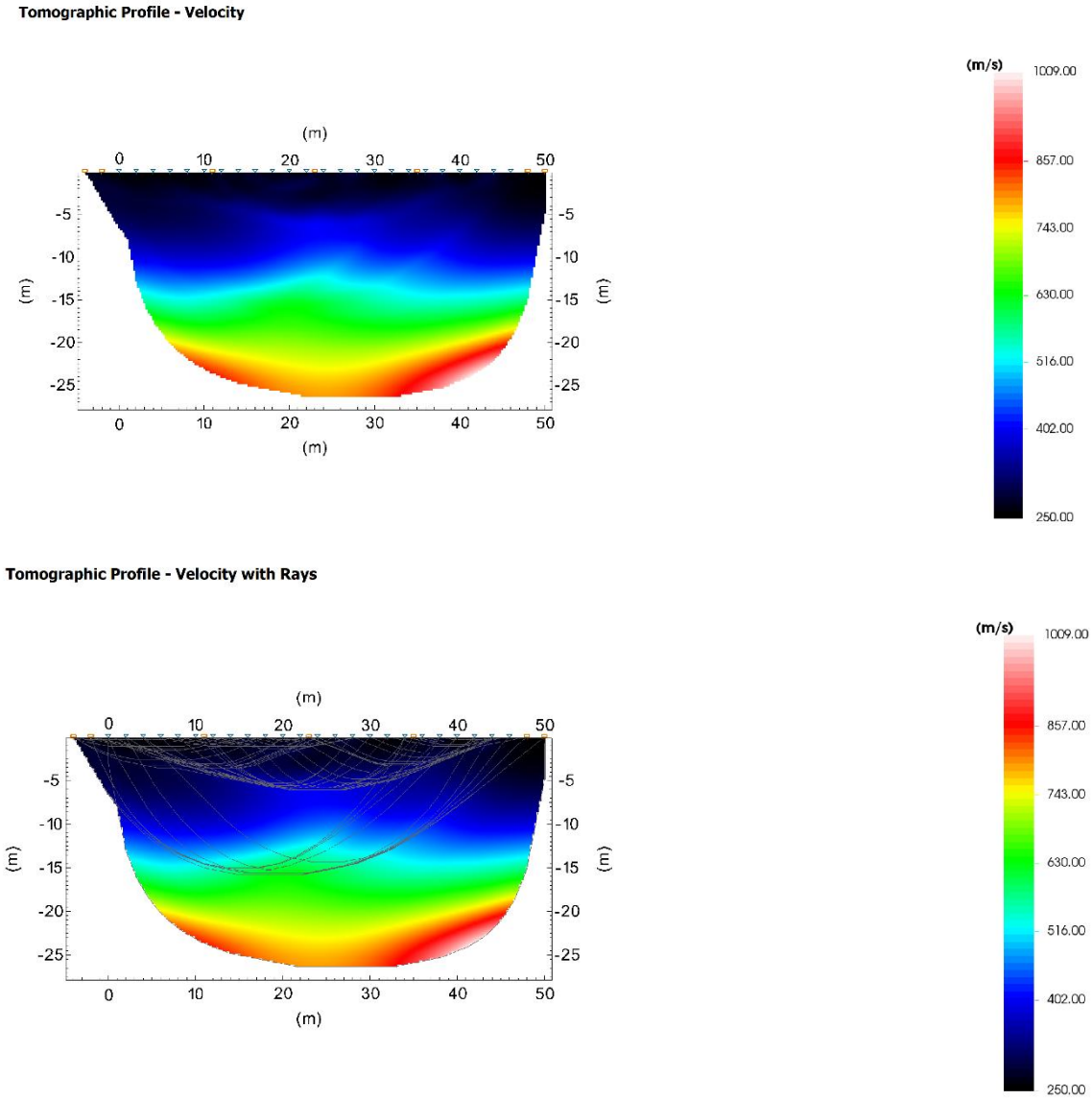


Figura 3-28- Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.8 TS8

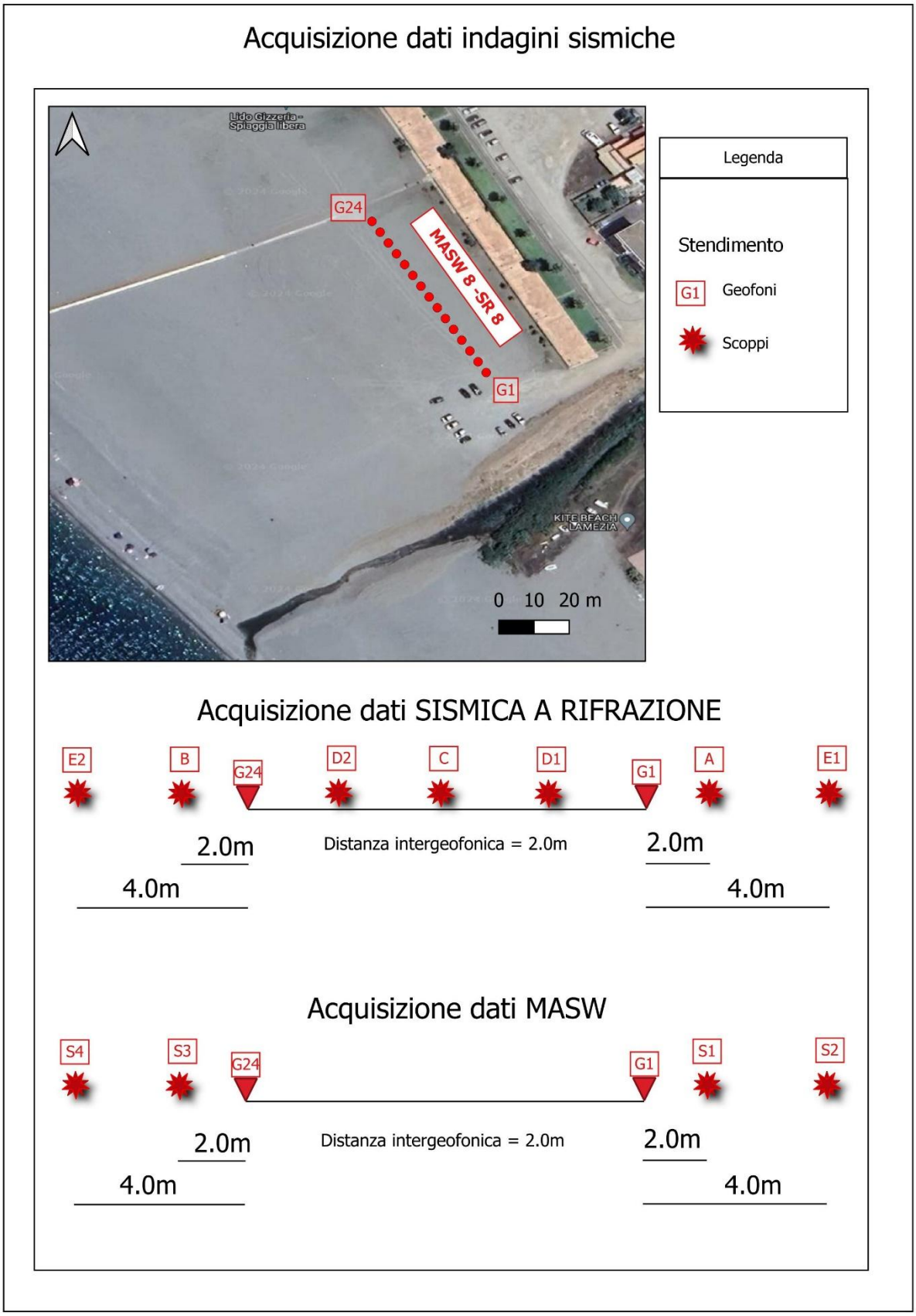


Figura 3-29 – Ubicazione TS 8 e schema di acquisizione dati.

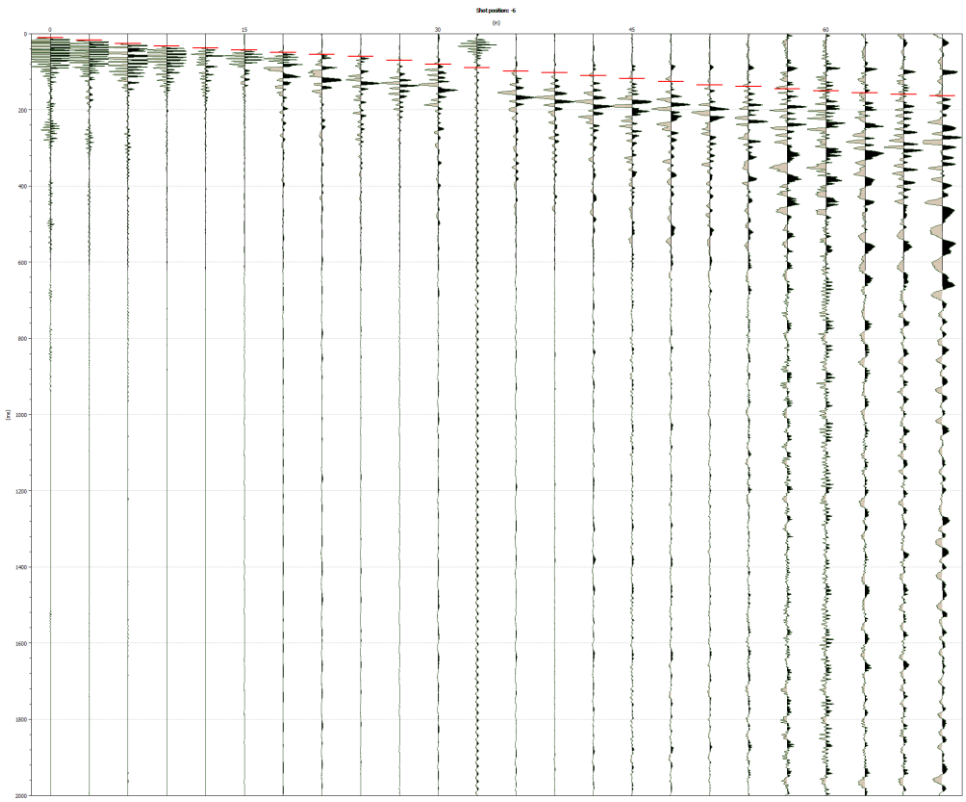
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	-4.00	E1
-2.00	-3.50	A
11.00	-0.23	D1
23.00	-1.04	C
35.00	-1.52	D2
50.00	-2.08	B
52.00	-2.16	E2

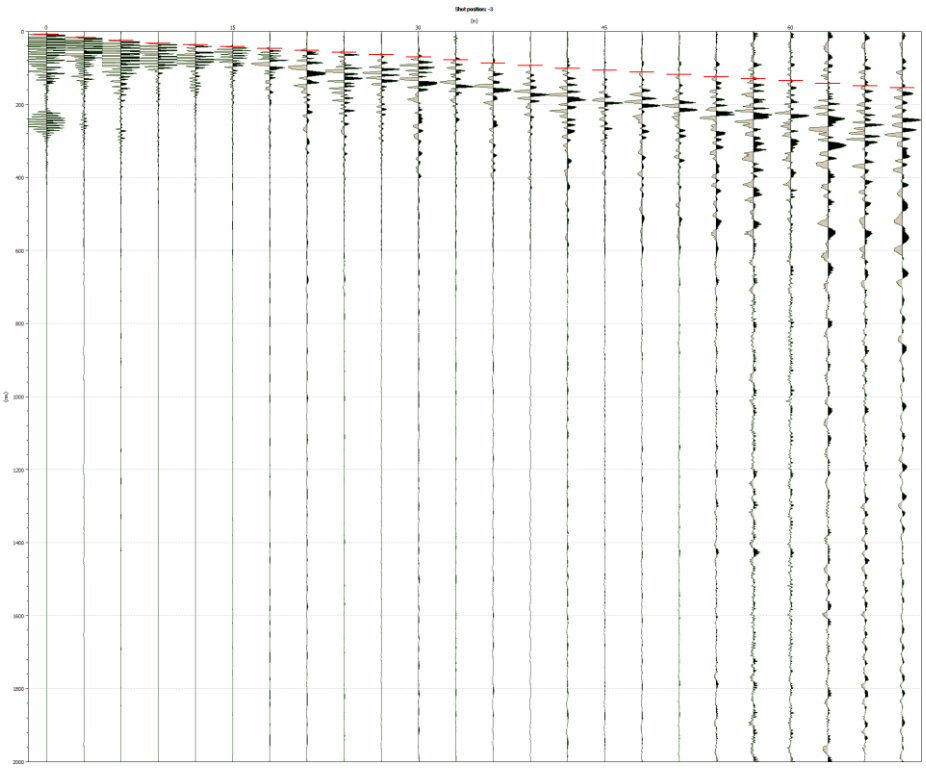
Tabella 3-16– Posizione degli scoppi TS 8

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

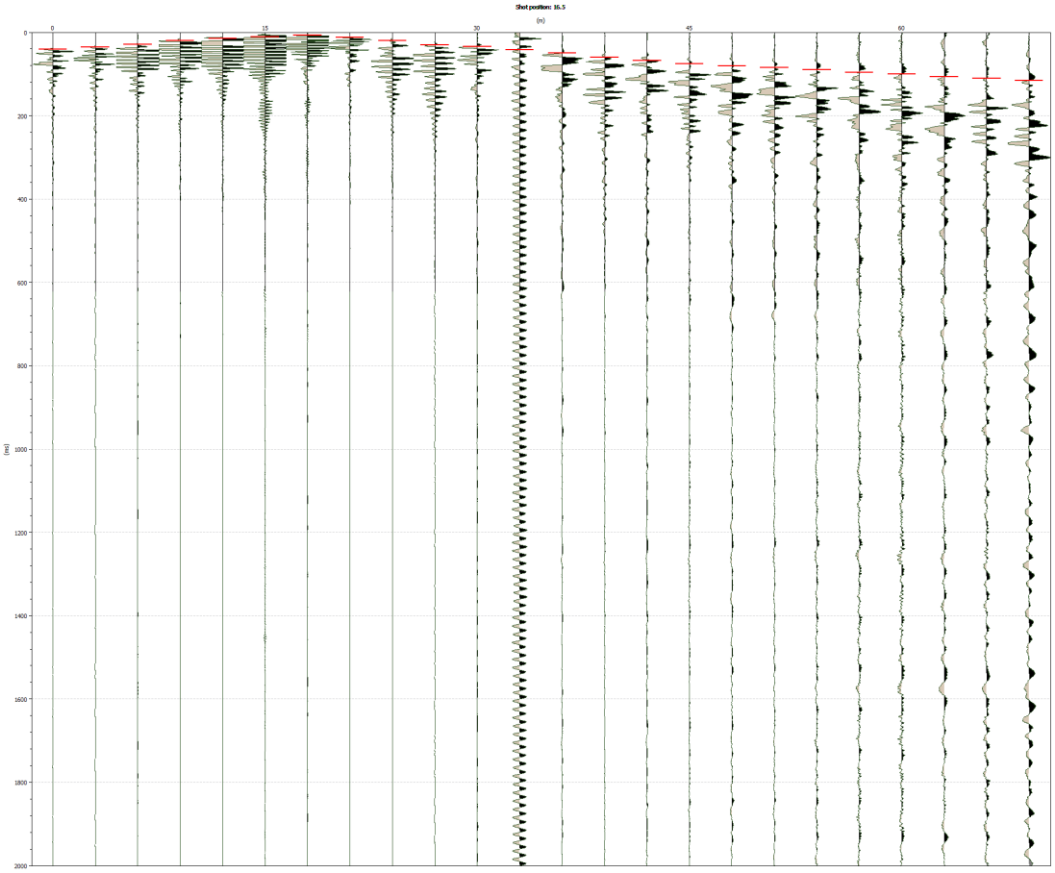
SCOPPIO E1



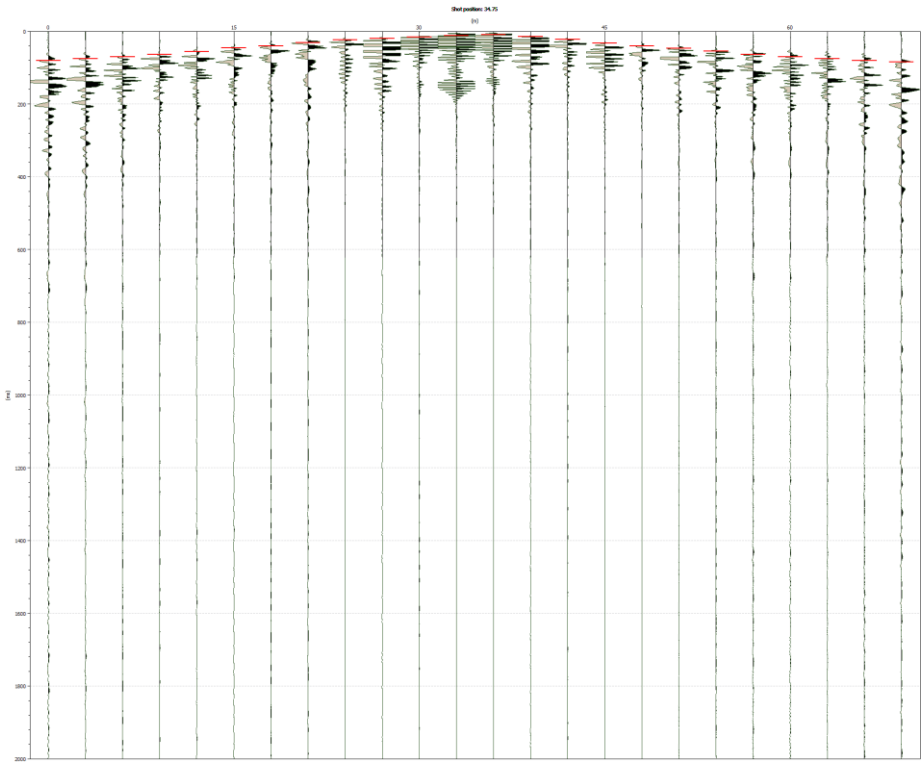
SCOPPIO A



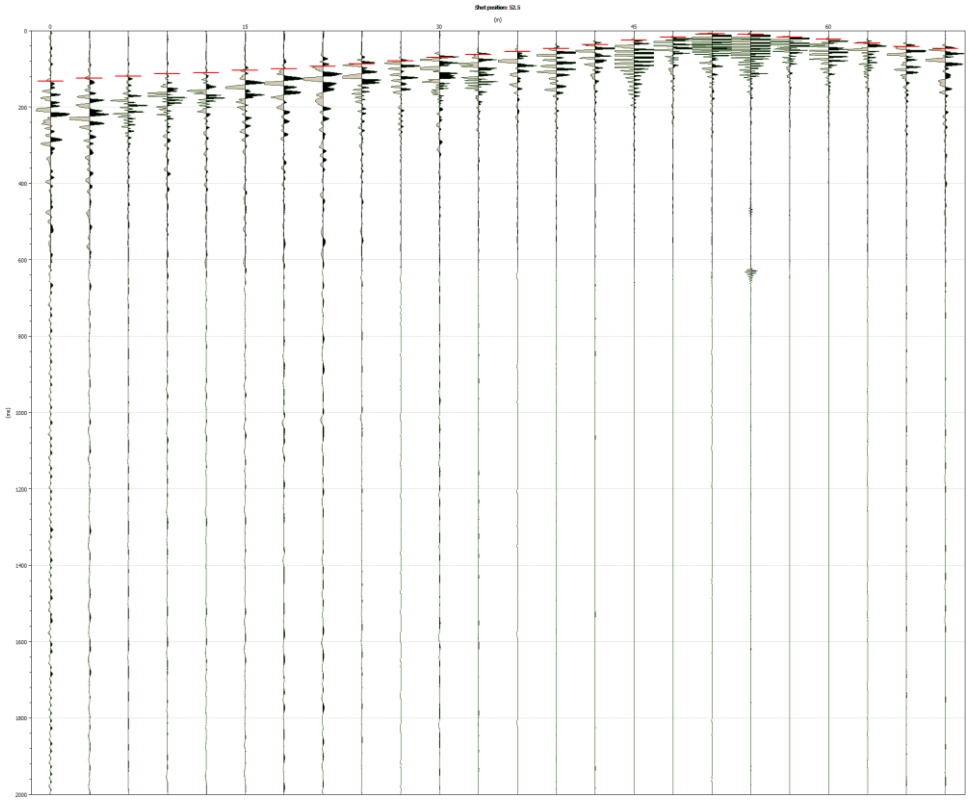
SCOPPIO D1



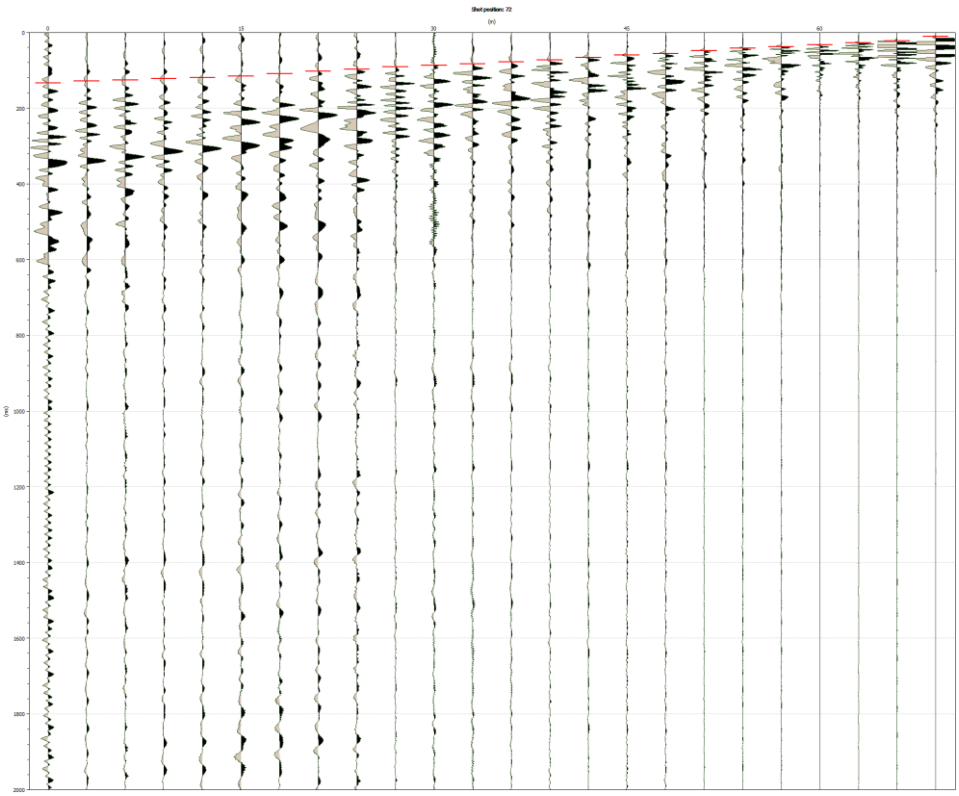
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

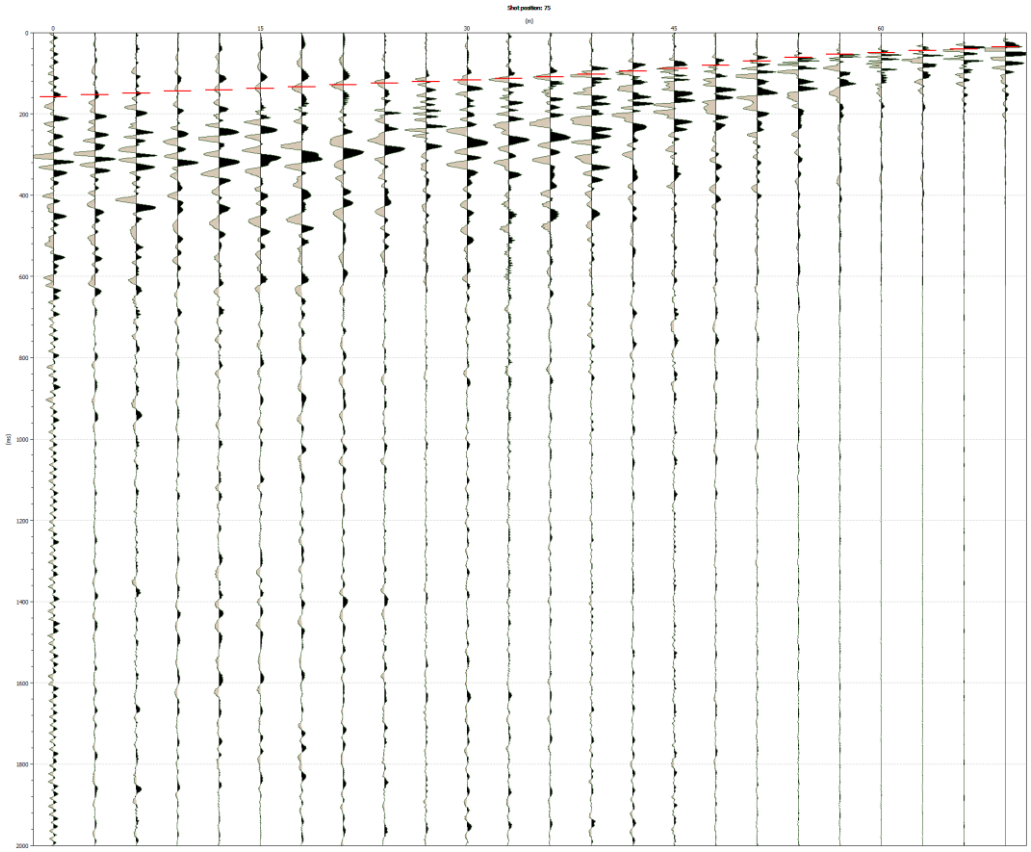


Figura 3-30: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	-3	0.0110922 0.0146908	0.00853242 0.00824031	0.0401024 0.0419152	0.081058 0.0799874	0.132253 0.101092	0.133959 0.0988933	0.15785 0.10042
1:0	3	-2	0.0179181 0.0238243	0.0170648 0.0173739	0.0349829 0.0361756	0.0750853 0.0744891	0.125427 0.101395	0.12884 0.100443	0.153584 0.101969
2:0	6	-1	0.0264505 0.0327797	0.024744 0.0263292	0.0290102 0.0293421	0.0699659 0.0700116	0.119454 0.10173	0.12628 0.102565	0.149317 0.104091
3:0	9	-0.5	0.0324232 0.0394961	0.0324232 0.0345328	0.0204778 0.0207729	0.0639932 0.0638435	0.113481 0.10078	0.122014 0.102893	0.144198 0.104419
4:0	12	0	0.0375427 0.0444403	0.0366894 0.0395613	0.0153584 0.012804	0.056314 0.0575462	0.110068 0.0993232	0.119454 0.104139	0.141638 0.105665
5:0	15	-0.15	0.0435154 0.0493711	0.0418089 0.0445296	0.0110922 0.00439879	0.0460751 0.0506613	0.104096 0.0944932	0.115188 0.103473	0.138225 0.104999
6:0	18	-0.3	0.0494881 0.054835	0.0477816 0.0499935	0.00682594 0.00442632	0.0401024 0.0434846	0.0998294 0.0887455	0.109215 0.101617	0.133959 0.103143
7:0	21	-0.45	0.0546075 0.060331	0.0520478 0.0554895	0.0127986 0.0125805	0.03157 0.0353283	0.0938567 0.0833001	0.103242 0.0997057	0.12884 0.101232
8:0	24	-0.6	0.0605802 0.0662417	0.0580205 0.0614039	0.0204778 0.0204109	0.0238908 0.0274974	0.087884 0.0777175	0.0981229 0.0970153	0.124573 0.0987756
9:0	27	-0.75	0.0708191 0.0719047	0.0639932 0.0670689	0.0298635 0.0275931	0.0204778 0.0203129	0.0793515 0.0719129	0.0912969 0.0945409	0.120307 0.0964656
10:0	30	-0.9	0.0802048 0.0776066	0.0699659 0.0727709	0.0341297 0.0342282	0.0162116 0.0136774	0.0708191 0.0668968	0.0870307 0.0937975	0.116894 0.0958901
11:0	33	-1	0.0904437 0.084971	0.0784983 0.0801353	0.0418089 0.0422295	0.0119454 0.00556002	0.0631399 0.0605542	0.0836177 0.0935146	0.112628 0.095608
12:0	36	-1.08	0.0989761 0.0889676	0.0870307 0.0860438	0.0503413 0.0508277	0.0102389 0.00403229	0.0546075 0.0526496	0.0784983 0.0911523	0.109215 0.0932457
13:0	39	-1.16	0.103242 0.0909443	0.0938567 0.0889369	0.059727 0.0586145	0.0145051 0.0131521	0.0469283 0.0440021	0.0733788 0.0852178	0.102389 0.0908416
14:0	42	-1.24	0.110068 0.0922775	0.101536 0.0914947	0.0674061 0.0663276	0.0221843 0.0219964	0.0366894 0.0352317	0.0665529 0.0795917	0.0955631 0.0890919
15:0	45	-1.32	0.117747 0.0946099	0.106655 0.0945871	0.0750853 0.074077	0.0324232 0.0316326	0.024744 0.025583	0.0605802 0.0733081	0.0887372 0.0828083
16:0	48	-1.4	0.12628 0.0975032	0.111775 0.0975232	0.0802048 0.0807493	0.0409556 0.0409776	0.0170648 0.0161258	0.056314 0.0669969	0.0802048 0.0764975
17:0	51	-1.48	0.135666 0.0994571	0.118601 0.0994771	0.084471 0.0883499	0.0477816 0.0509522	0.00853242 0.00558685	0.0486348 0.0593716	0.0708191 0.0688798
18:0	54	-1.56	0.139078 0.0972607	0.125427 0.0972807	0.0895904 0.0929111	0.0554608 0.0599715	0.00938567 0.00527105	0.0418089 0.0514907	0.0614334 0.0609989
19:0	57	-1.64	0.145904 0.0961103	0.130546 0.0961304	0.0964164 0.0940039	0.0639932 0.0652705	0.0170648 0.0146993	0.0375427 0.0446503	0.0537543 0.054239
20:0	60	-1.72	0.151024 0.096501	0.135666 0.096521	0.100683 0.0962913	0.0699659 0.0701194	0.0230375 0.0229156	0.0324232 0.0389761	0.0494881 0.0487511
21:0	63	-1.8	0.156143 0.0970912	0.143345 0.0971112	0.106655 0.100172	0.0759386 0.0759433	0.0324232 0.0319489	0.0273038 0.0303931	0.0443686 0.0415732
22:0	66	-1.88	0.159556 0.0973858	0.149317 0.0974058	0.110068 0.102746	0.0802048 0.0815894	0.0418089 0.0413619	0.0221843 0.0210179	0.0401024 0.0323082
23:0	69	-2	0.163823 0.0974928	0.154437 0.0975129	0.116041 0.103422	0.0853242 0.0879214	0.0477816 0.0482127	0.0110922 0.0106729	0.0358362 0.0220895

Tabella 3-17 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

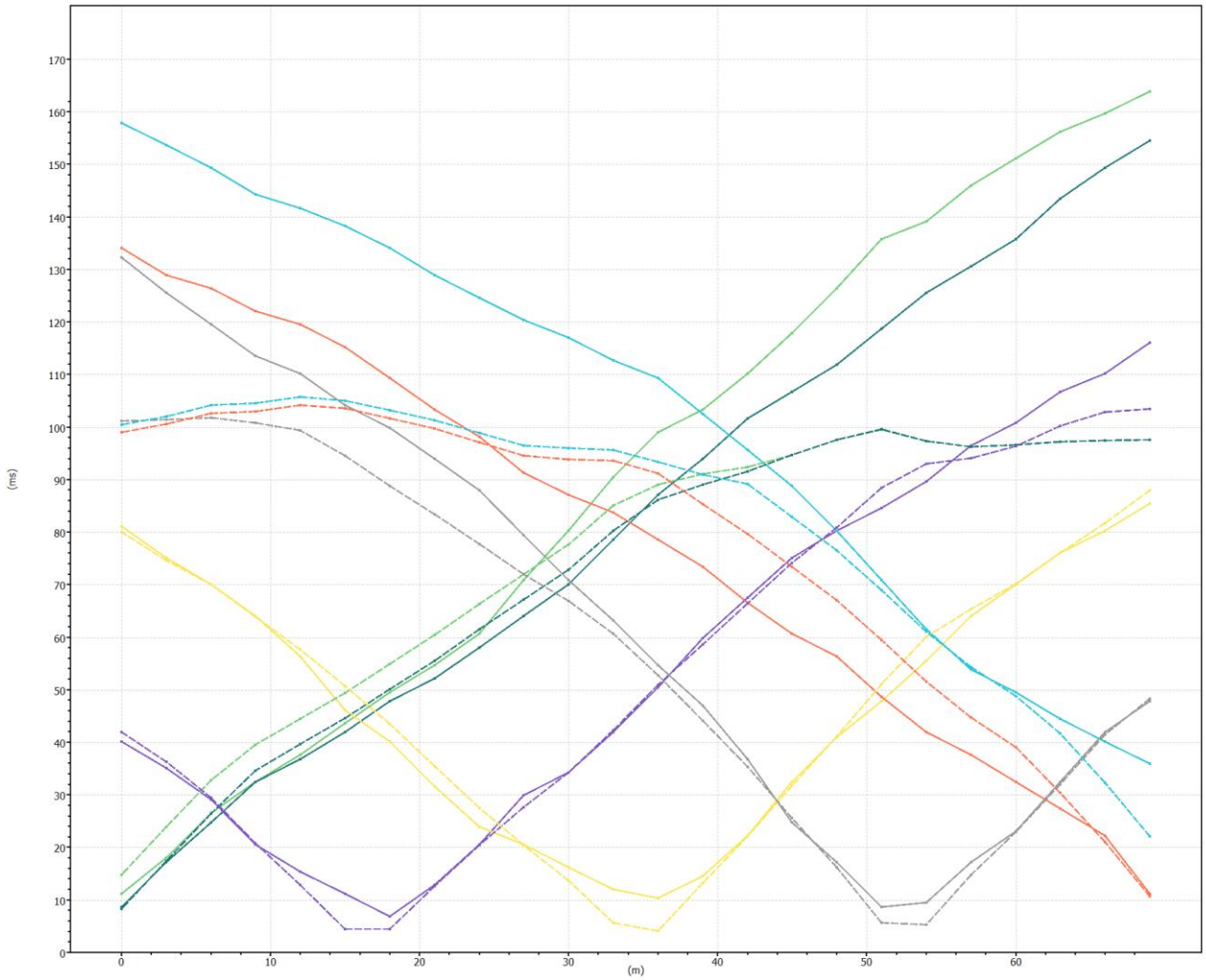


Figura 3-31 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

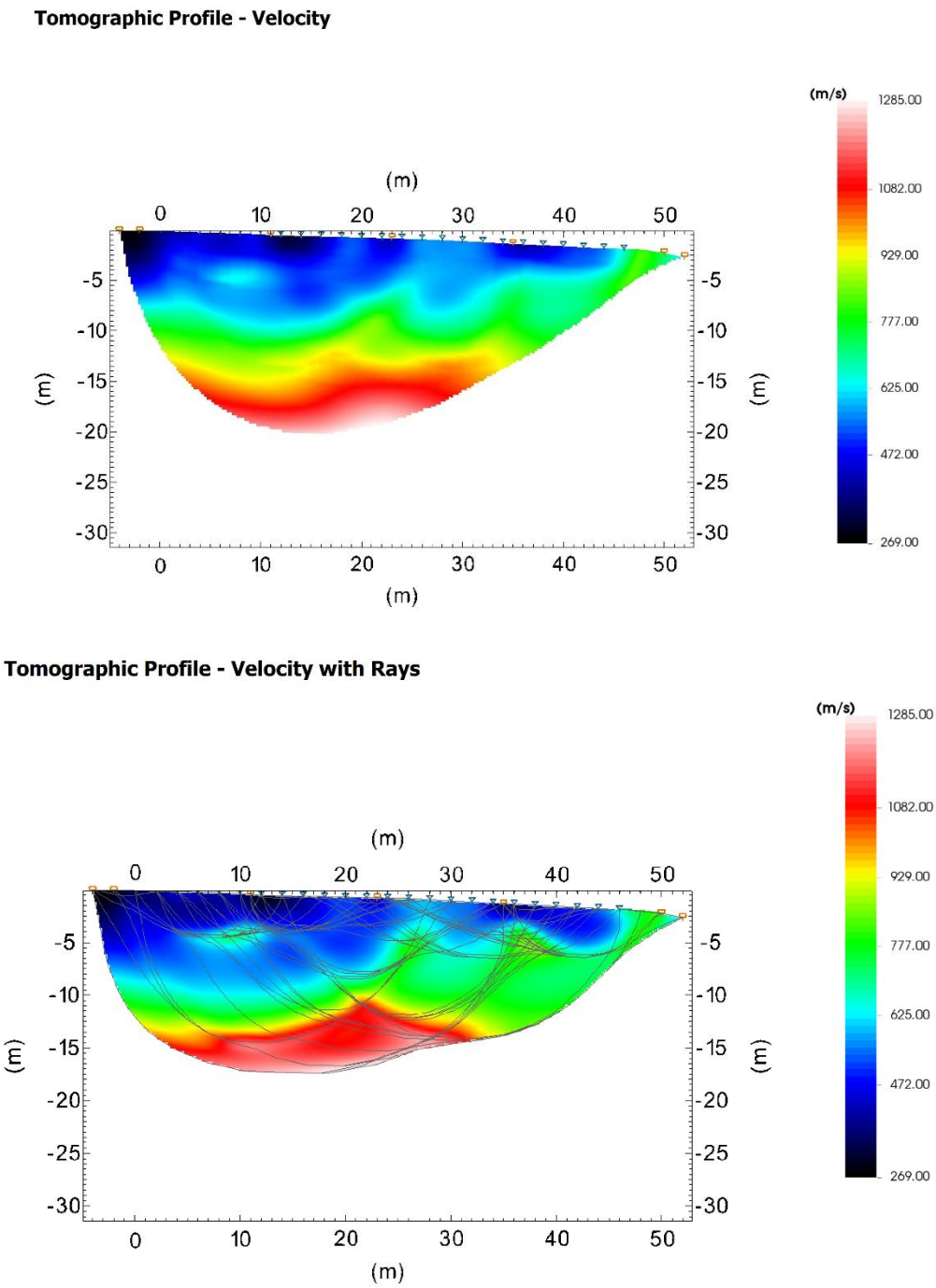


Figura 3-32 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P

3.2.9 TS9

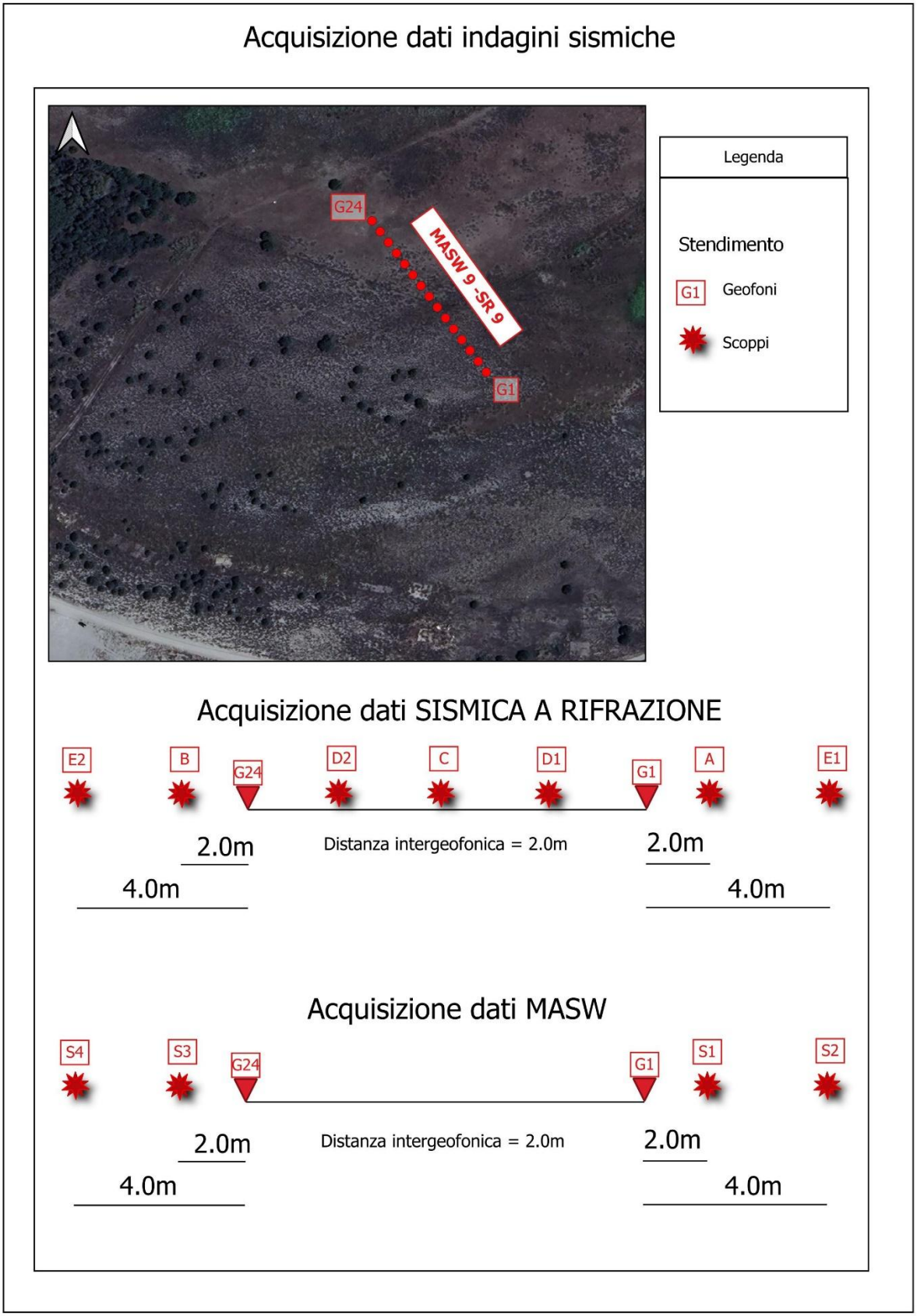


Figura 3-33– Ubicazione TS 9 e schema di acquisizione dati.

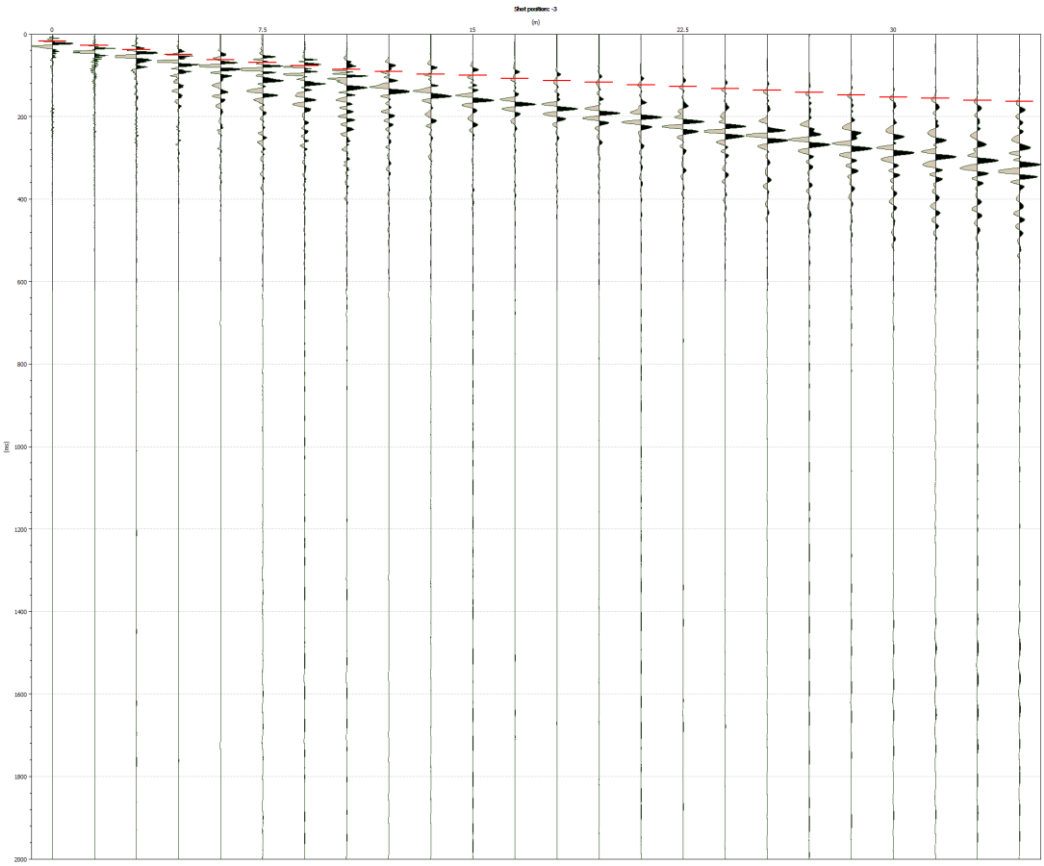
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
50.00	0.00	B
52.00	0.00	E2

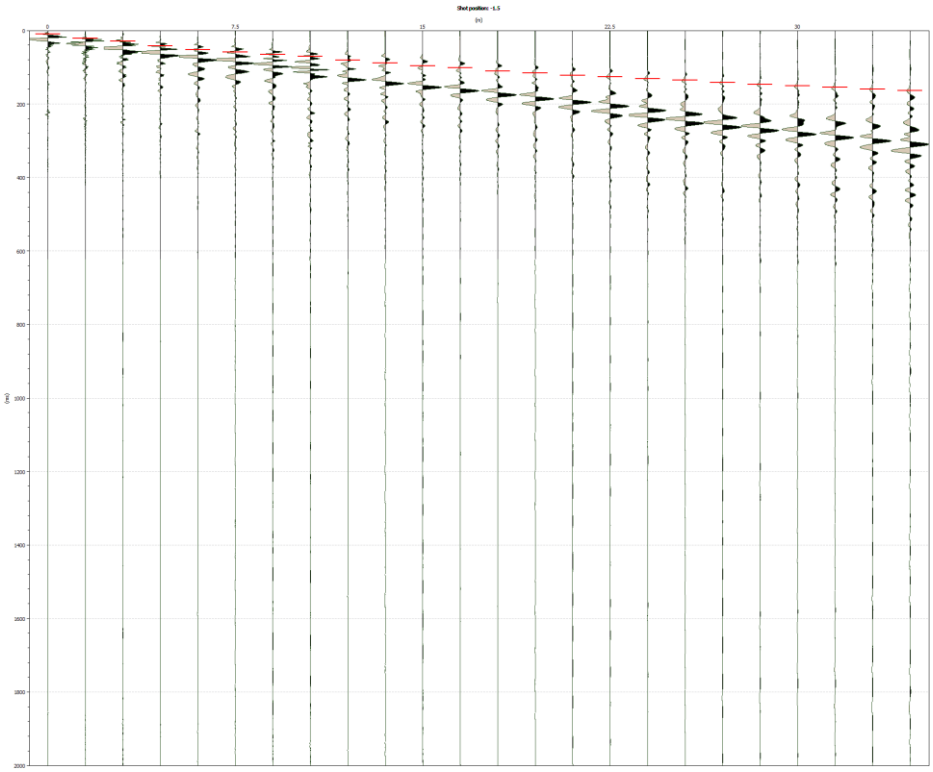
Tabella 3-15 – Posizione degli scoppi TS 9

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

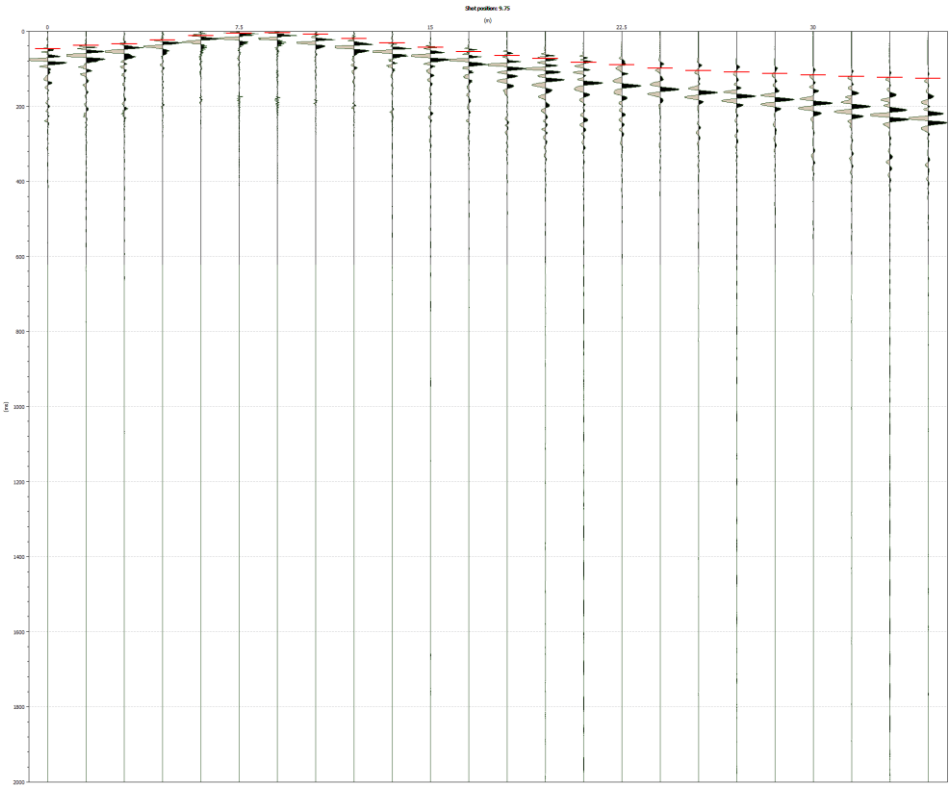
SCOPPIO E1



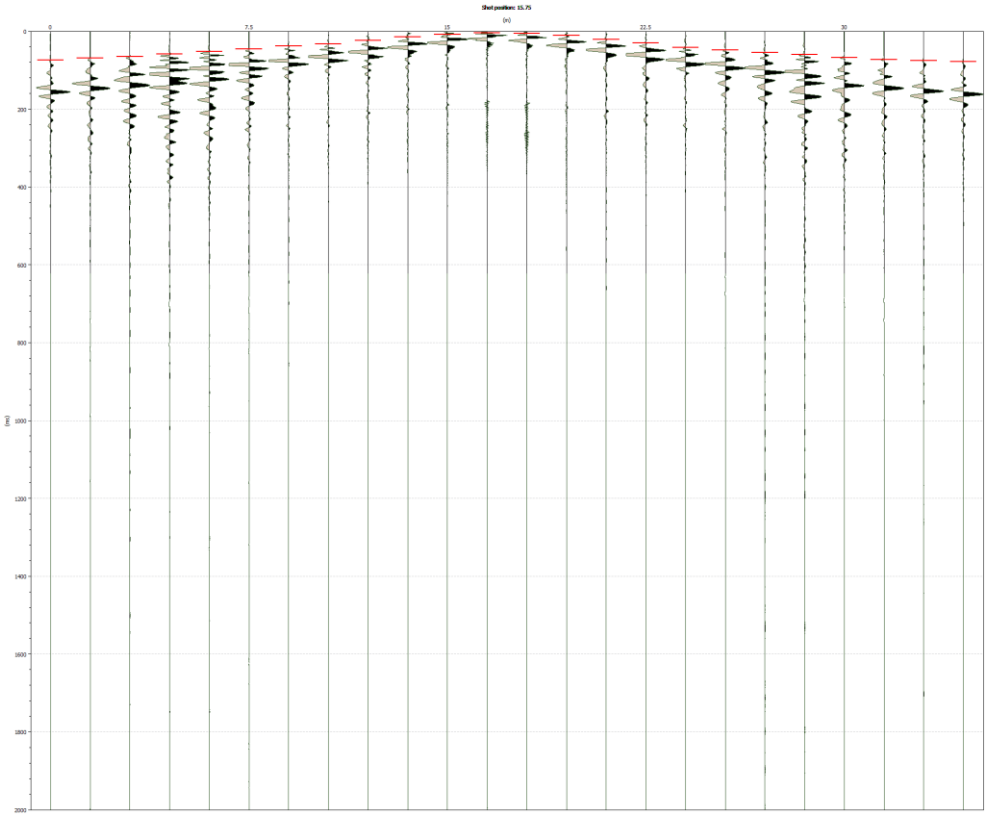
SCOPPIO A



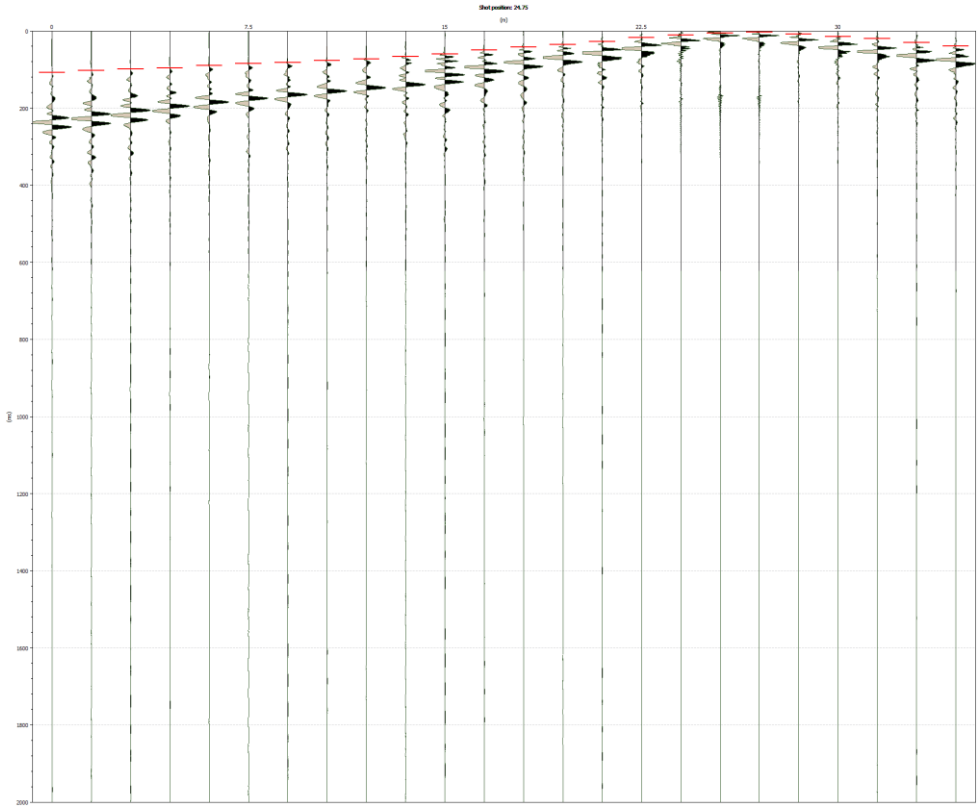
SCOPPIO D1



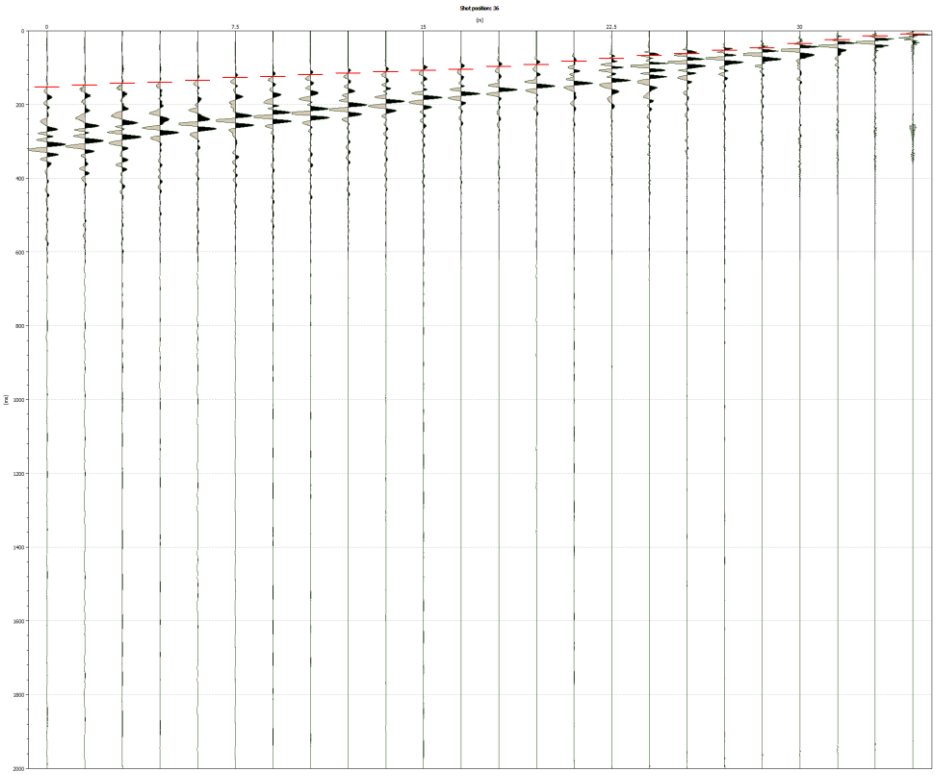
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

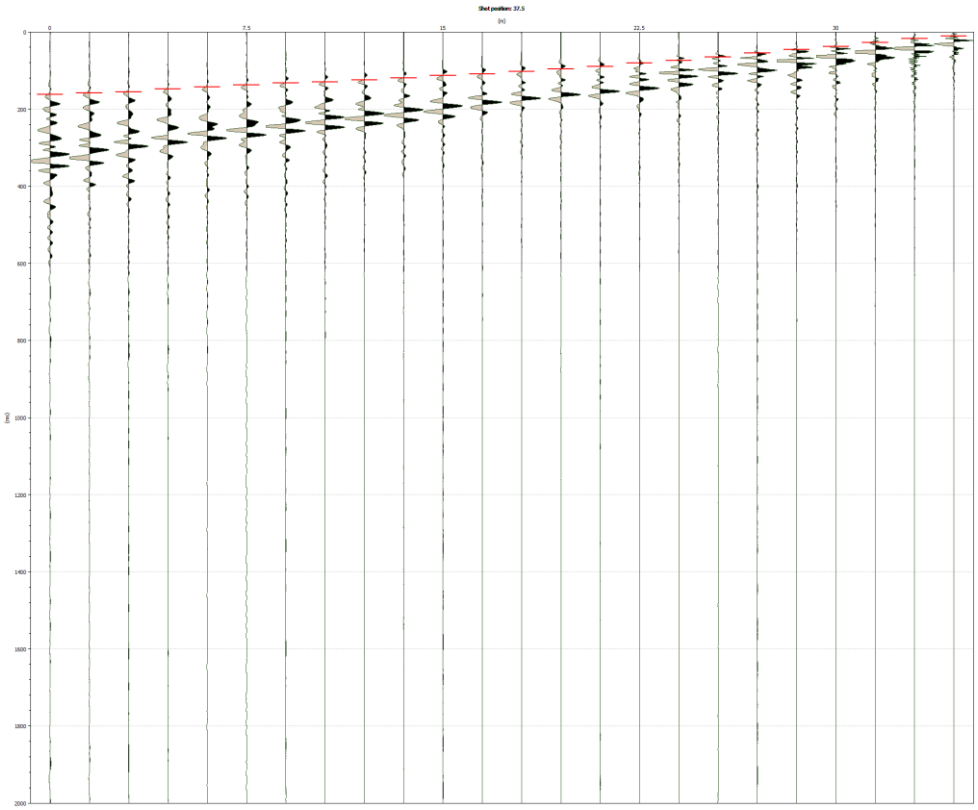


Figura 3-34-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0179181	0.00938567	0.0469283	0.0742321	0.107509	0.153584	0.162116
			0.0120276	0.00602759	0.0390276	0.0630276	0.0990276	0.152609	0.163154
1:0	1.5	0	0.0273038	0.0213311	0.0383959	0.0691126	0.103242	0.147611	0.158703
			0.0180276	0.0120276	0.0330276	0.0570276	0.0930276	0.147871	0.158416
2:0	3	0	0.0375427	0.0290102	0.0341297	0.0648464	0.0989761	0.143345	0.15529
			0.0240276	0.0180276	0.0270276	0.0510276	0.0870276	0.144017	0.154562
3:0	4.5	0	0.0494881	0.0426621	0.0238908	0.0588737	0.0964164	0.139932	0.148464
			0.0300276	0.0240276	0.0210276	0.0450276	0.0810276	0.14004	0.148126
4:0	6	0	0.0622867	0.0520478	0.0119454	0.052901	0.0904437	0.134812	0.143345
			0.0360276	0.0300276	0.0150276	0.0390276	0.0750276	0.122882	0.143546
5:0	7.5	0	0.0691126	0.0588737	0.0059727	0.0460751	0.0853242	0.127986	0.137372
			0.0420276	0.0360276	0.00902759	0.0330276	0.0690276	0.115186	0.137378
6:0	9	0	0.0767918	0.0656997	0.00511945	0.0383959	0.0819113	0.125427	0.133106
			0.0480276	0.0420276	0.00302759	0.0270276	0.0630276	0.108028	0.115021
7:0	10.5	0	0.0861775	0.0708191	0.00853242	0.0324232	0.0767918	0.119454	0.129693
			0.0540276	0.0480276	0.00302759	0.0210276	0.0570276	0.102028	0.108028
8:0	12	0	0.0912969	0.0802048	0.0204778	0.0238908	0.0725256	0.115188	0.124573
			0.0600276	0.0540276	0.00902759	0.0150276	0.0510276	0.0960276	0.102028
9:0	13.5	0	0.0972696	0.0887372	0.03157	0.0153584	0.0665529	0.111775	0.119454
			0.0660276	0.0600276	0.0150276	0.00902759	0.0450276	0.0900276	0.0960276
10:0	15	0	0.100683	0.0964164	0.0435154	0.00853242	0.059727	0.107509	0.113481
			0.0720276	0.0660276	0.0210276	0.00302759	0.0390276	0.0840276	0.0900276
11:0	16.5	0	0.107509	0.101536	0.0554608	0.00511945	0.0503413	0.104949	0.109215
			0.0780276	0.0720276	0.0270276	0.00302759	0.0330276	0.0780276	0.0840276
12:0	18	0	0.113481	0.110068	0.0648464	0.0059727	0.0418089	0.0981229	0.102389
			0.0840276	0.0780276	0.0330276	0.00902759	0.0270276	0.0720276	0.0780276
13:0	19.5	0	0.116894	0.115188	0.0733788	0.0110922	0.0349829	0.0930034	0.0964164
			0.0900276	0.0840276	0.0390276	0.0150276	0.0210276	0.0660276	0.0720276
14:0	21	0	0.122867	0.122014	0.0836177	0.0213311	0.0273038	0.0836177	0.0895904
			0.0960276	0.0900276	0.0450276	0.0210276	0.0150276	0.0600276	0.0660276
15:0	22.5	0	0.127133	0.12628	0.0904437	0.0298635	0.0179181	0.0759386	0.081058
			0.102028	0.0960276	0.0510276	0.0270276	0.00902759	0.0540276	0.0600276
16:0	24	0	0.132253	0.131399	0.0989761	0.0418089	0.0110922	0.0682594	0.0742321
			0.108028	0.102028	0.0570276	0.0330276	0.00302759	0.0480276	0.0540276
17:0	25.5	0	0.136519	0.135666	0.105802	0.0486348	0.0059727	0.0622867	0.0648464
			0.115021	0.108028	0.0630276	0.0390276	0.00302759	0.0420276	0.0480276
18:0	27	0	0.141638	0.141638	0.109215	0.0546075	0.00341297	0.0537543	0.0554608
			0.122962	0.115186	0.0690276	0.0450276	0.00902759	0.0360276	0.0420276
19:0	28.5	0	0.147611	0.146758	0.112628	0.0605802	0.00853242	0.0469283	0.0460751
			0.147628	0.122882	0.0750276	0.0510276	0.0150276	0.0300276	0.0360276
20:0	30	0	0.15273	0.151024	0.116894	0.0674061	0.0145051	0.0358362	0.0375427
			0.152452	0.151282	0.0810276	0.0570276	0.0210276	0.0240276	0.0300276
21:0	31.5	0	0.15529	0.154437	0.12116	0.0733788	0.0204778	0.0255973	0.028157
			0.155462	0.154292	0.0870276	0.0630276	0.0270276	0.0180276	0.0240276
22:0	33	0	0.161263	0.159556	0.12372	0.0750853	0.0298635	0.0153584	0.0179181
			0.160971	0.159801	0.0930276	0.0690276	0.0330276	0.0120276	0.0180276
23:0	34.5	0	0.163823	0.162969	0.12628	0.0784983	0.0392491	0.00938567	0.0110922
			0.163972	0.162802	0.0990276	0.0750276	0.0390276	0.00602759	0.0120276

Tabella 3-19 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

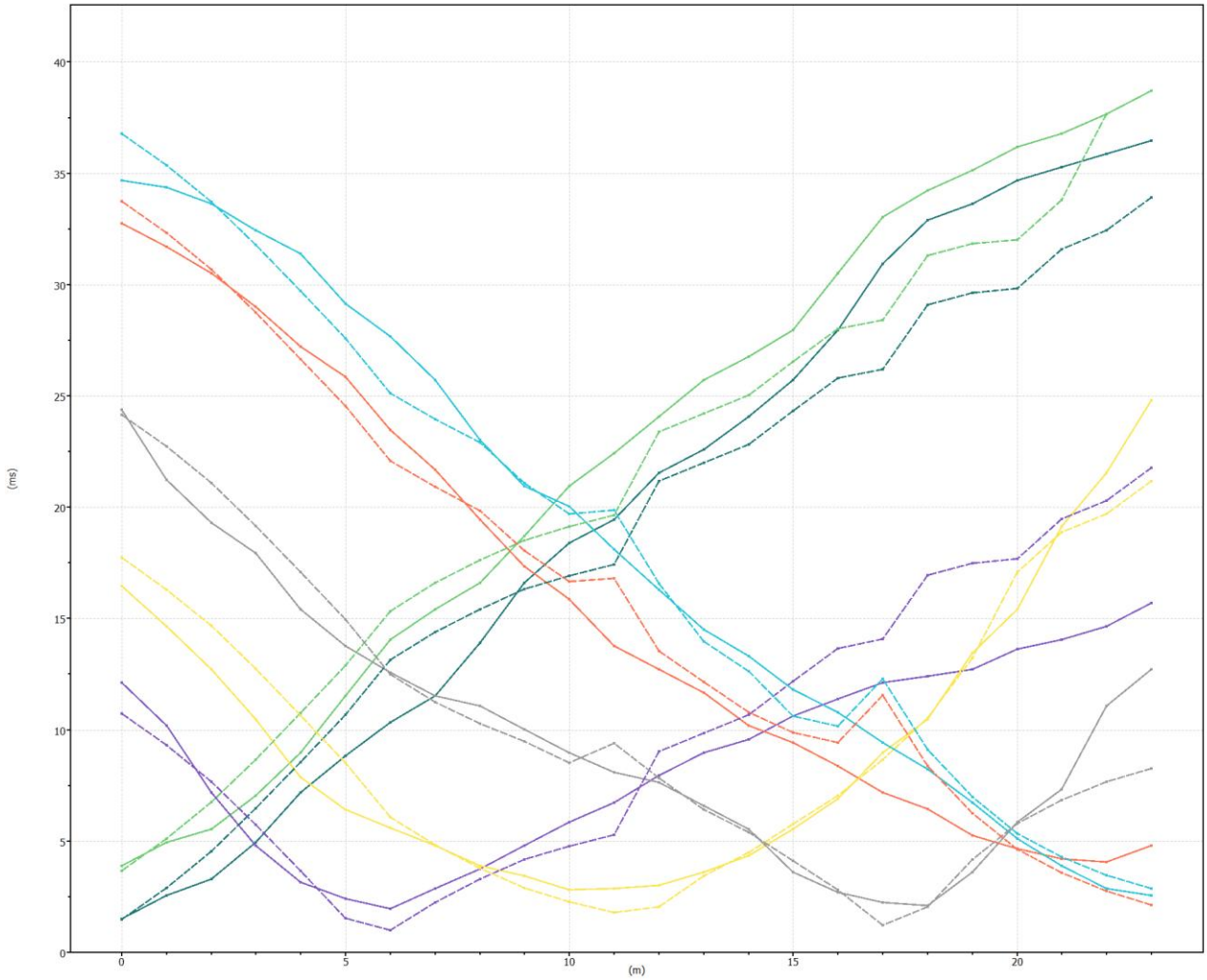


Figura 3-35 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

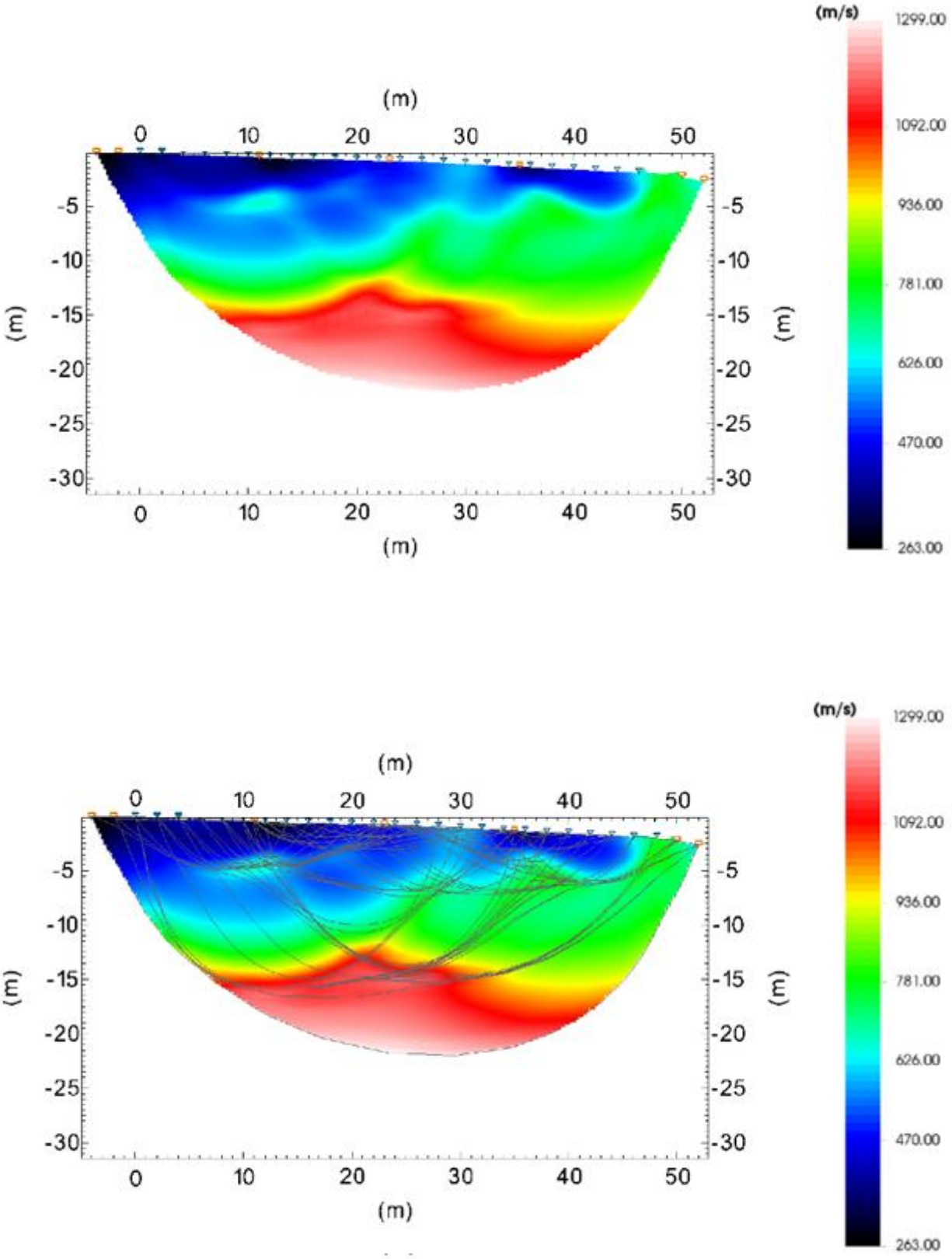


Figura 3-36 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.10 TS10

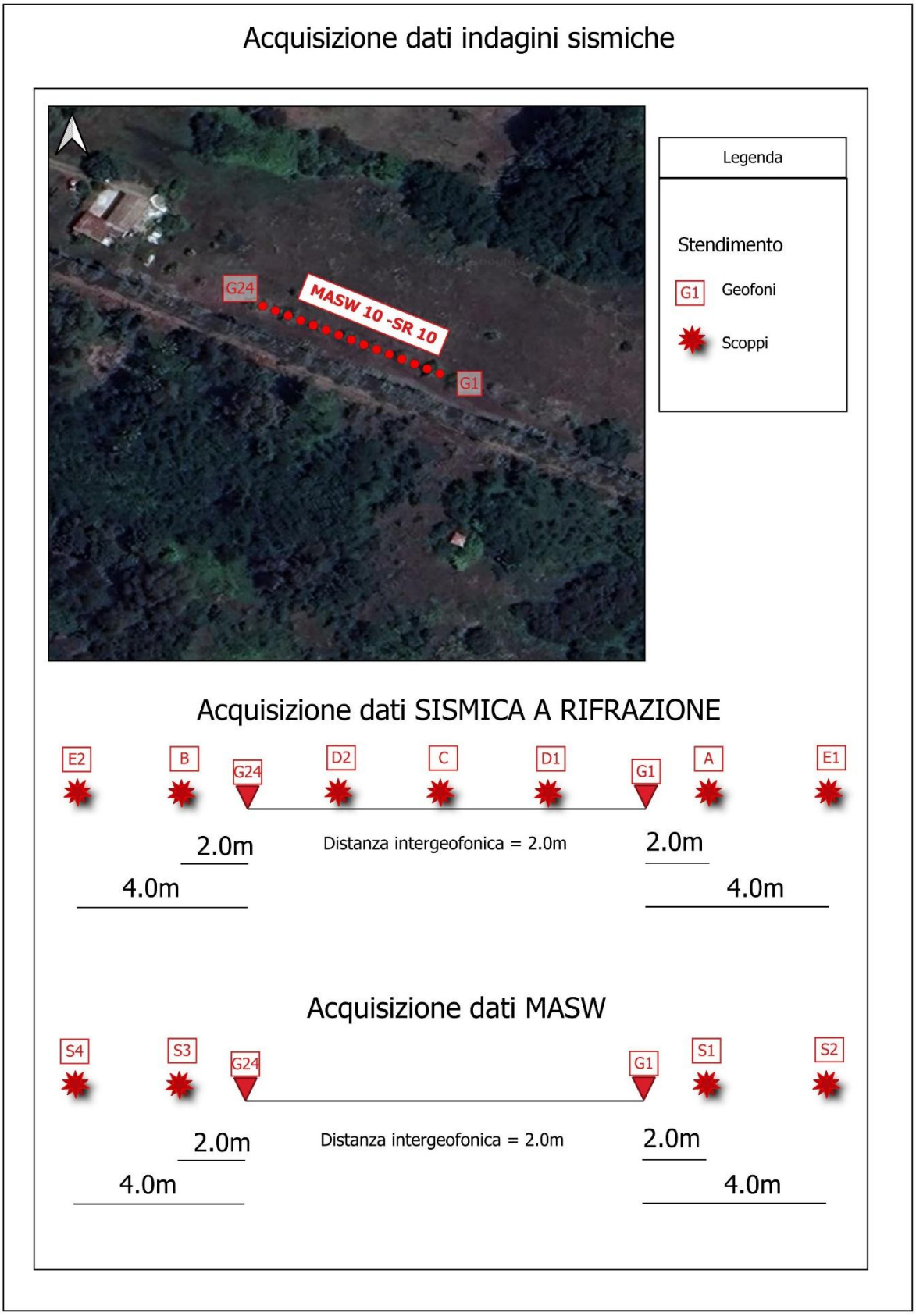


Figura 3-37– Ubicazione TS 10 e schema di acquisizione dati.

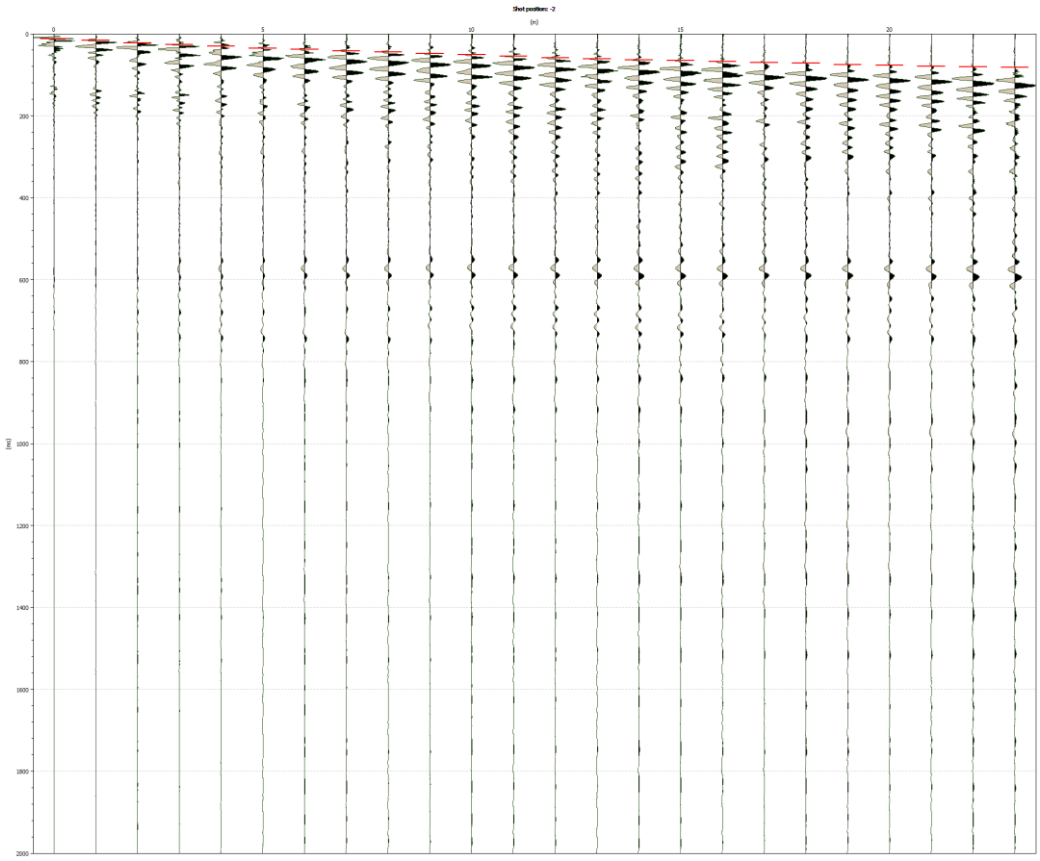
La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-4.00	0.00	E1
-2.00	0.00	A
11.00	0.00	D1
23.00	0.00	C
35.00	0.00	D2
50.00	0.00	B
52.00	0.00	E2

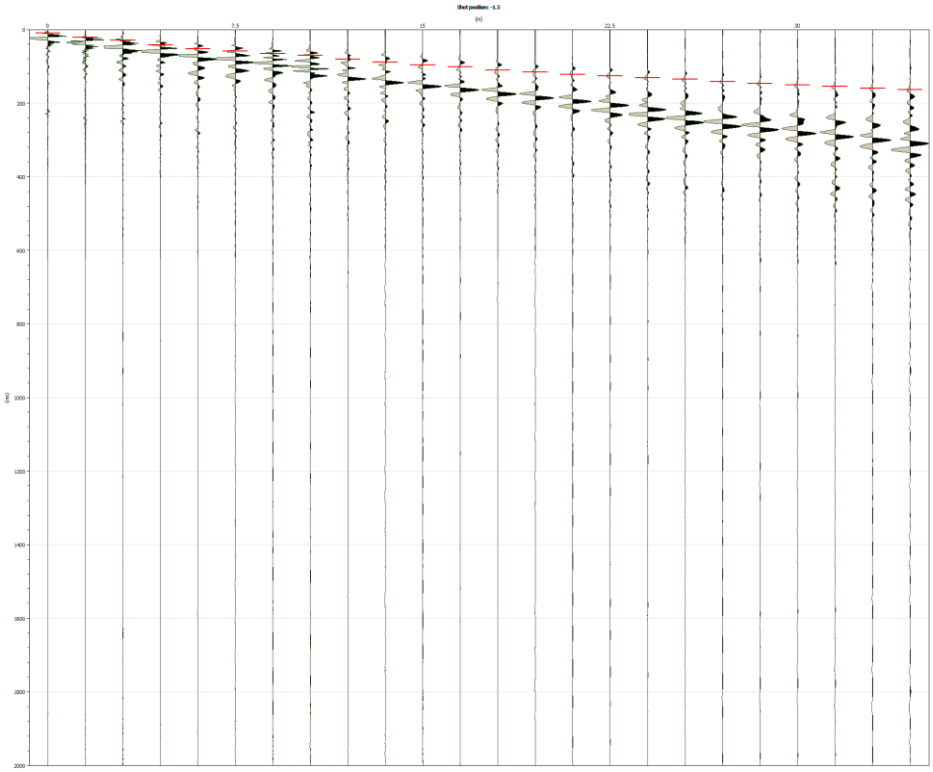
Tabella 3-16 – Posizione degli scoppi TS 10

Di seguito vengono riportati i singoli sismogrammi con i relativi "picking" eseguiti in fase di elaborazione

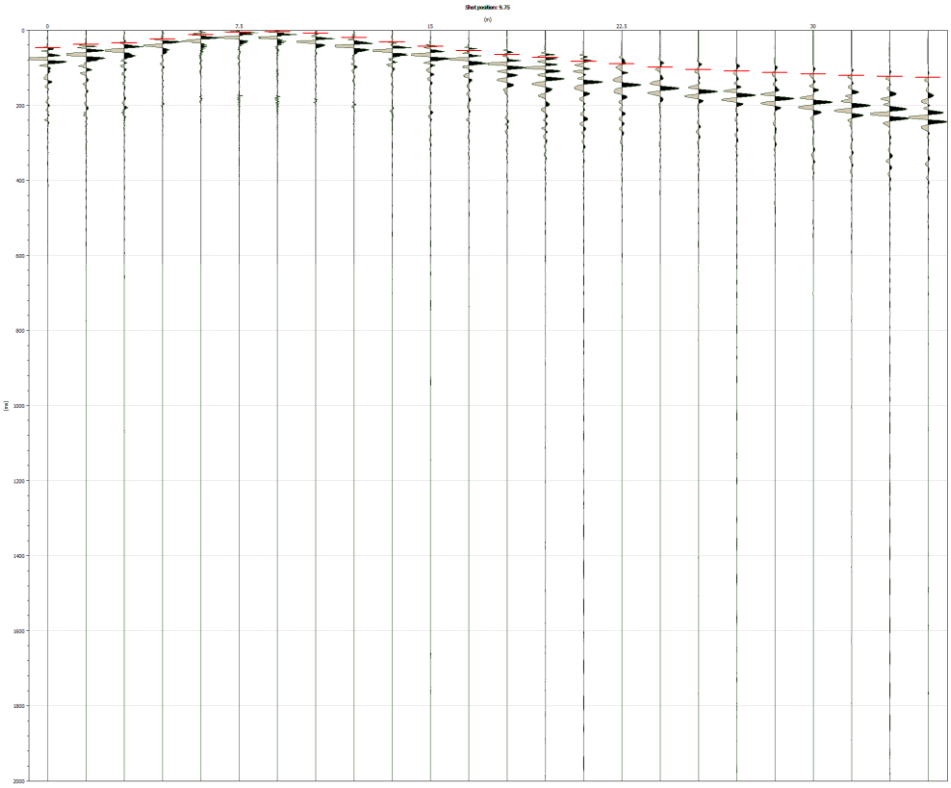
SCOPPIO E1



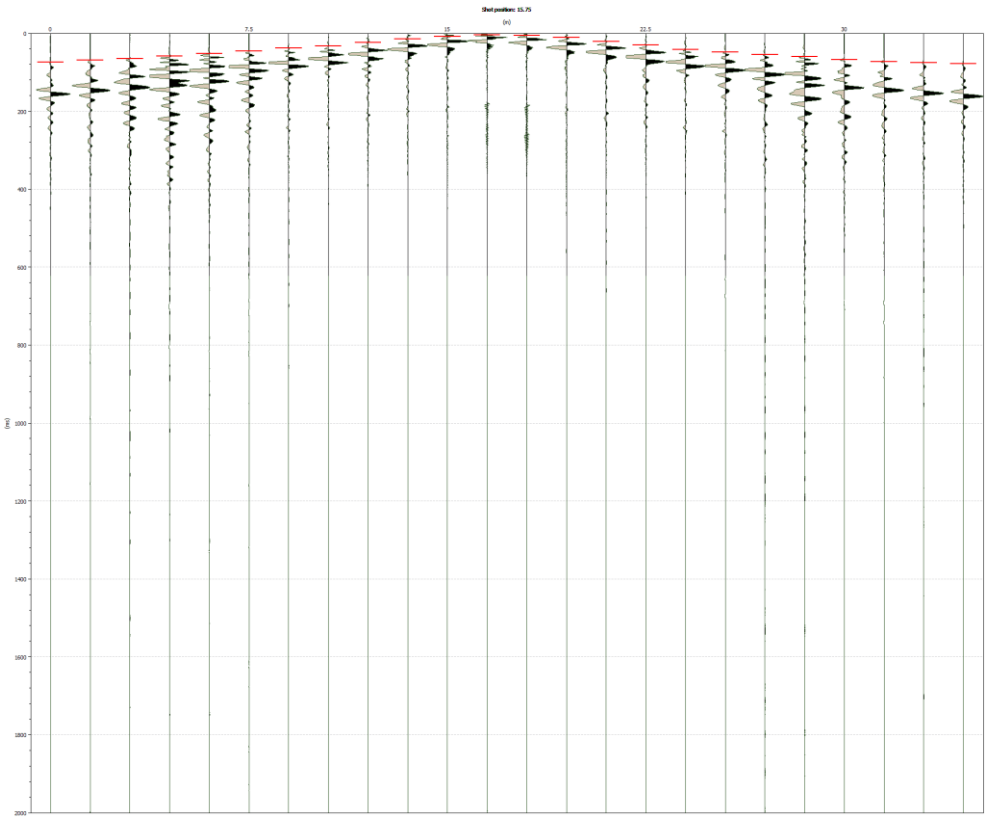
SCOPPIO A



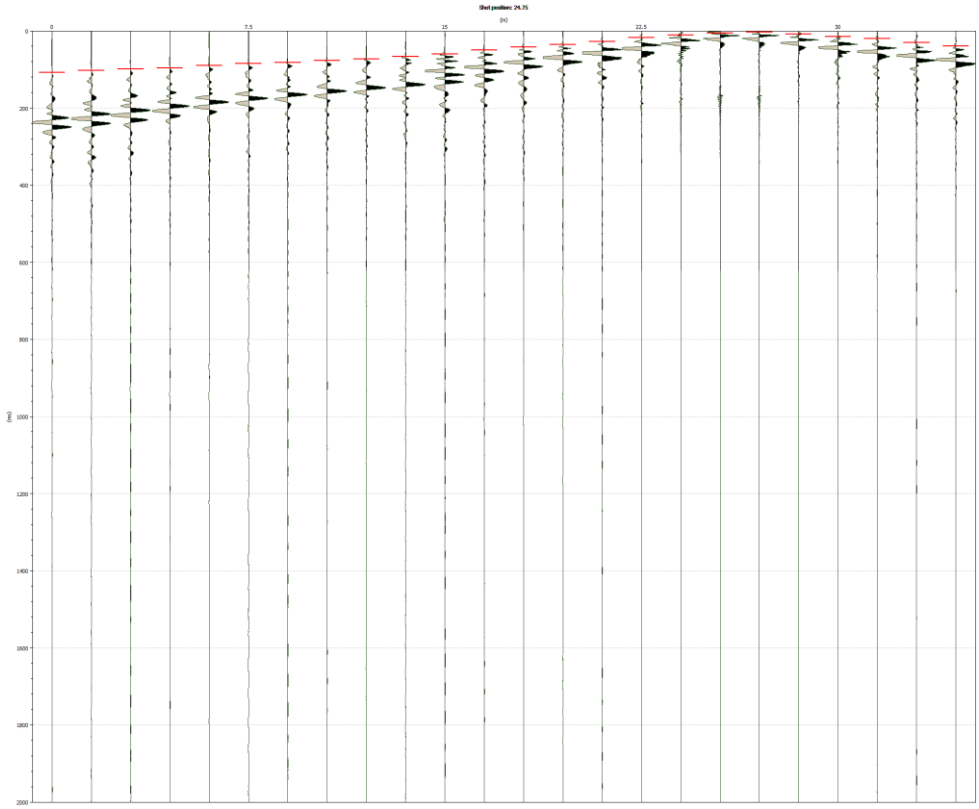
SCOPPIO D1



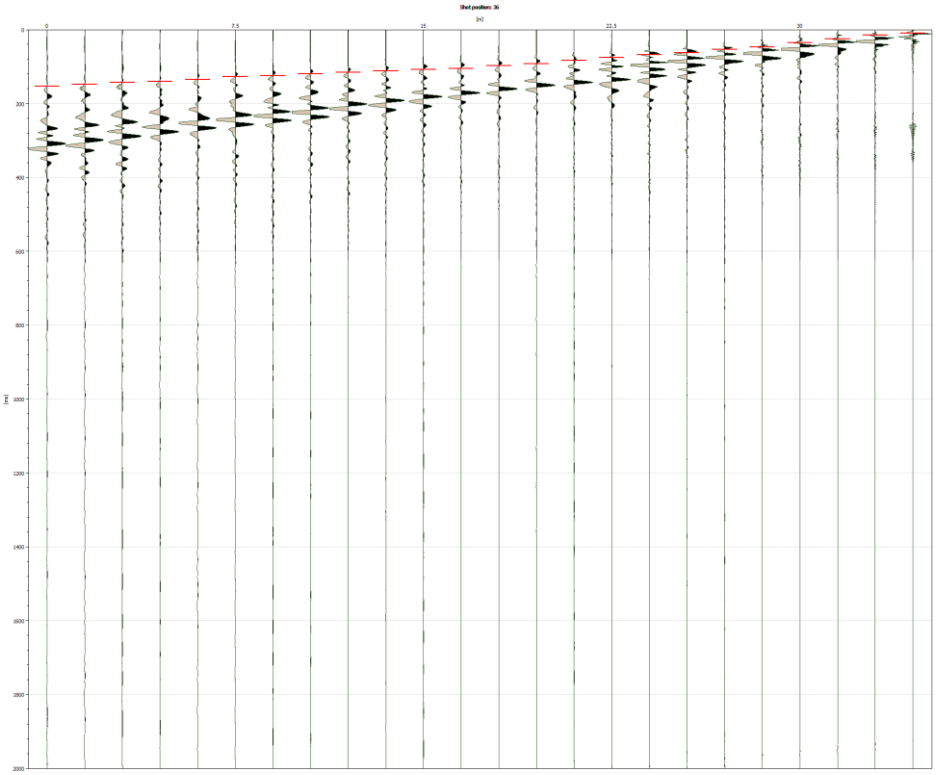
SCOPPIO C


Shot position: 15.75
(m)
0
7.5
15
22.5
30
(ms)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

SCOPPIO D2


Shot position: 24.75
(m)
0
7.5
15
22.5
30
(ms)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

SCOPPIO B



SCOPPIO E2

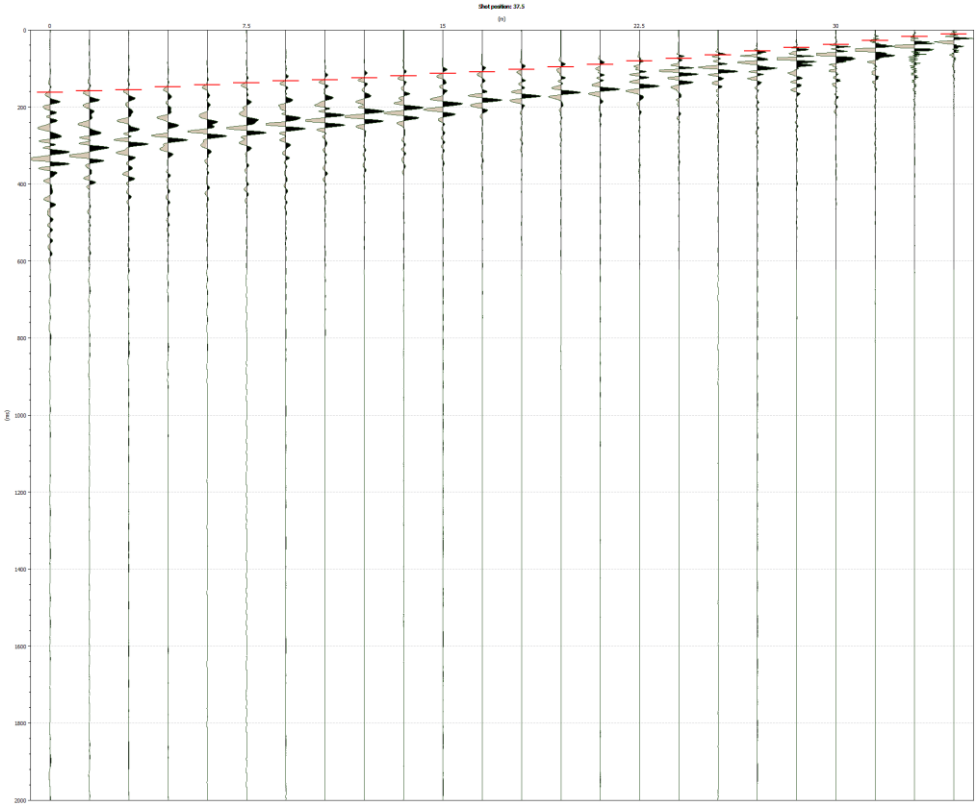


Figura 3-38-: Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0179181 0.0120276	0.00938567 0.00602759	0.0469283 0.0390276	0.0742321 0.0630276	0.107509 0.0990276	0.153584 0.152609	0.162116 0.163154
1:0	1.5	0	0.0273038 0.0180276	0.0213311 0.0120276	0.0383959 0.0330276	0.0691126 0.0570276	0.103242 0.0930276	0.147611 0.147871	0.158703 0.158416
2:0	3	0	0.0375427 0.0240276	0.0290102 0.0180276	0.0341297 0.0270276	0.0648464 0.0510276	0.0989761 0.0870276	0.143345 0.144017	0.15529 0.154562
3:0	4.5	0	0.0494881 0.0300276	0.0426621 0.0240276	0.0238908 0.0210276	0.0588737 0.0450276	0.0964164 0.0810276	0.139932 0.14004	0.148464 0.148126
4:0	6	0	0.0622867 0.0360276	0.0520478 0.0300276	0.0119454 0.0150276	0.052901 0.0390276	0.0904437 0.0750276	0.134812 0.122882	0.143345 0.143546
5:0	7.5	0	0.0691126 0.0420276	0.0588737 0.0360276	0.0059727 0.00902759	0.0460751 0.0330276	0.0853242 0.0690276	0.127986 0.115186	0.137372 0.137378
6:0	9	0	0.0767918 0.0480276	0.0656997 0.0420276	0.00511945 0.00302759	0.0383959 0.0270276	0.0819113 0.0630276	0.125427 0.108028	0.133106 0.115021
7:0	10.5	0	0.0861775 0.0540276	0.0708191 0.0480276	0.00853242 0.00302759	0.0324232 0.0210276	0.0767918 0.0570276	0.119454 0.102028	0.129693 0.108028
8:0	12	0	0.0912969 0.0600276	0.0802048 0.0540276	0.0204778 0.00902759	0.0238908 0.0150276	0.0725256 0.0510276	0.115188 0.0960276	0.124573 0.102028
9:0	13.5	0	0.0972696 0.0660276	0.0887372 0.0600276	0.03157 0.0150276	0.0153584 0.00902759	0.0665529 0.0450276	0.111775 0.0900276	0.119454 0.0960276
10:0	15	0	0.100683 0.0720276	0.0964164 0.0660276	0.0435154 0.0210276	0.00853242 0.00302759	0.059727 0.0390276	0.107509 0.0840276	0.113481 0.0900276
11:0	16.5	0	0.107509 0.0780276	0.101536 0.0720276	0.0554608 0.0270276	0.00511945 0.00302759	0.0503413 0.0330276	0.104949 0.0780276	0.109215 0.0840276
12:0	18	0	0.113481 0.0840276	0.110068 0.0780276	0.0648464 0.0330276	0.0059727 0.00902759	0.0418089 0.0270276	0.0981229 0.0720276	0.102389 0.0780276
13:0	19.5	0	0.116894 0.0900276	0.115188 0.0840276	0.0733788 0.0390276	0.0110922 0.0150276	0.0349829 0.0210276	0.0930034 0.0660276	0.0964164 0.0720276
14:0	21	0	0.122867 0.0960276	0.122014 0.0900276	0.0836177 0.0450276	0.0213311 0.0210276	0.0273038 0.0150276	0.0836177 0.0600276	0.0895904 0.0660276
15:0	22.5	0	0.127133 0.102028	0.12628 0.0960276	0.0904437 0.0510276	0.0298635 0.0270276	0.0179181 0.00902759	0.0759386 0.0540276	0.081058 0.0600276
16:0	24	0	0.132253 0.108028	0.131399 0.102028	0.0989761 0.0570276	0.0418089 0.0330276	0.0110922 0.00302759	0.0682594 0.0480276	0.0742321 0.0540276
17:0	25.5	0	0.136519 0.115021	0.135666 0.108028	0.105802 0.0630276	0.0486348 0.0390276	0.0059727 0.00302759	0.0622867 0.0420276	0.0648464 0.0480276
18:0	27	0	0.141638 0.122962	0.141638 0.115186	0.109215 0.0690276	0.0546075 0.0450276	0.00341297 0.00902759	0.0537543 0.0360276	0.0554608 0.0420276
19:0	28.5	0	0.147611 0.147628	0.146758 0.122882	0.112628 0.0750276	0.0605802 0.0510276	0.00853242 0.0150276	0.0469283 0.0300276	0.0460751 0.0360276
20:0	30	0	0.15273 0.152452	0.151024 0.151282	0.116894 0.0810276	0.0674061 0.0570276	0.0145051 0.0210276	0.0358362 0.0240276	0.0375427 0.0300276
21:0	31.5	0	0.15529 0.155462	0.154437 0.154292	0.12116 0.0870276	0.0733788 0.0630276	0.0204778 0.0270276	0.0255973 0.0180276	0.028157 0.0240276
22:0	33	0	0.161263 0.160971	0.159556 0.159801	0.12372 0.0930276	0.0750853 0.0690276	0.0298635 0.0330276	0.0153584 0.0120276	0.0179181 0.0180276
23:0	34.5	0	0.163823 0.163972	0.162969 0.162802	0.12628 0.0990276	0.0784983 0.0750276	0.0392491 0.0390276	0.00938567 0.00602759	0.0110922 0.0120276

Tabella 3-19 – Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

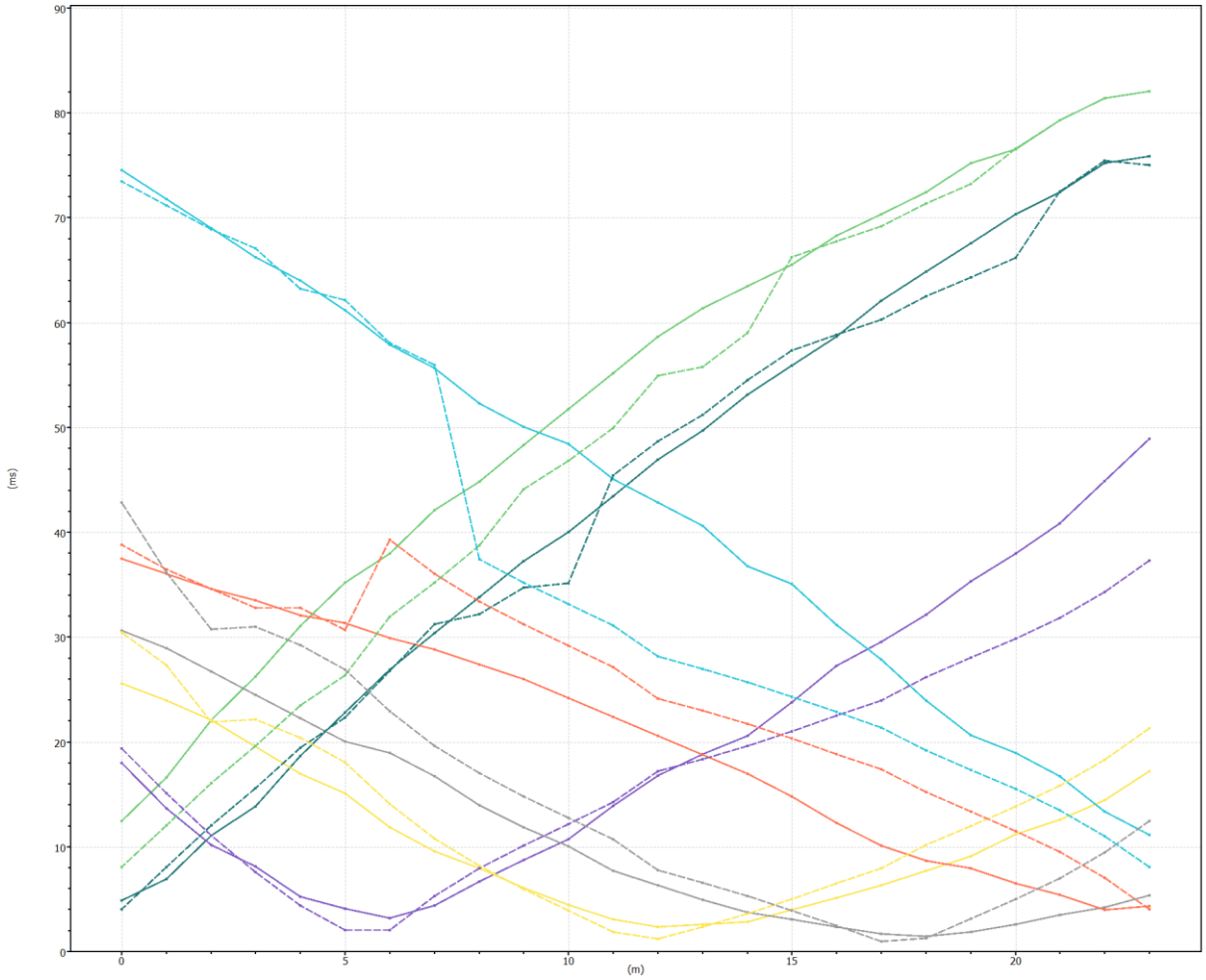
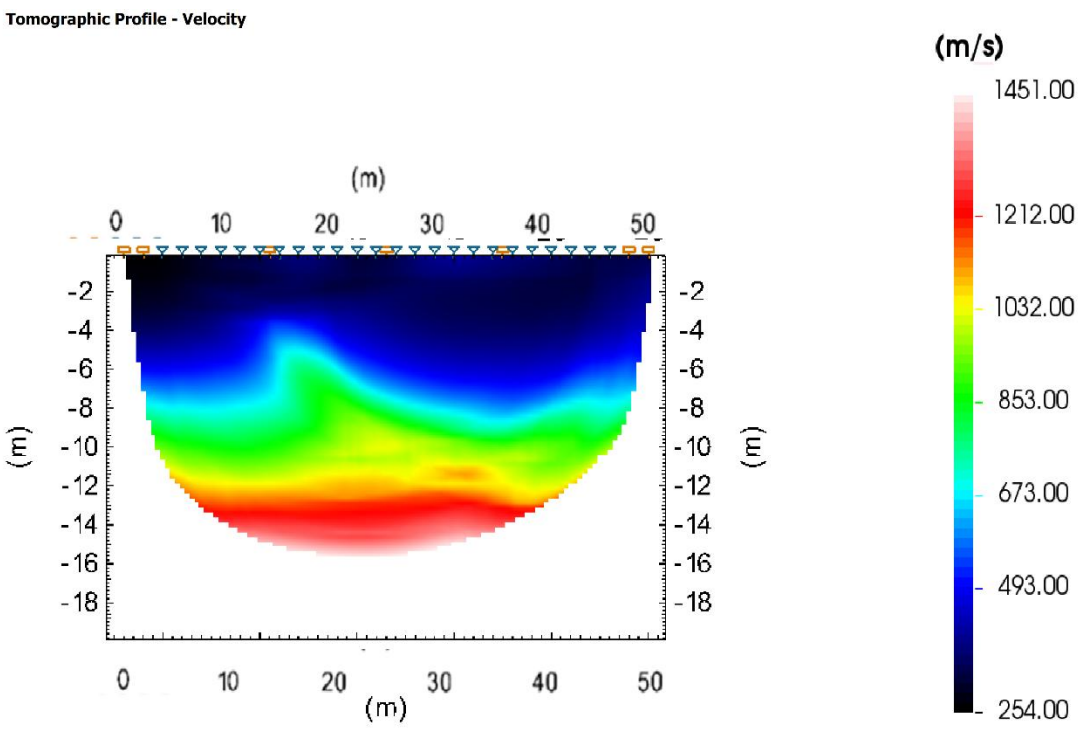


Figura 3-39 -: Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



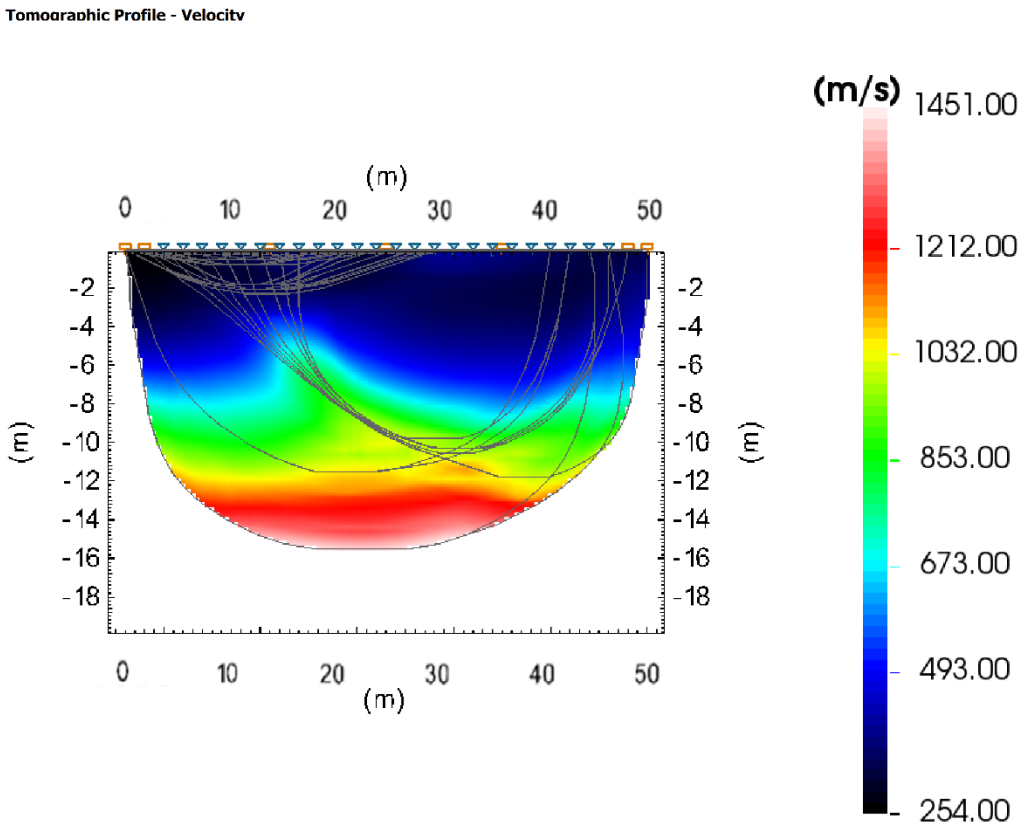


Figura 3-29 Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

3.2.11 TS11

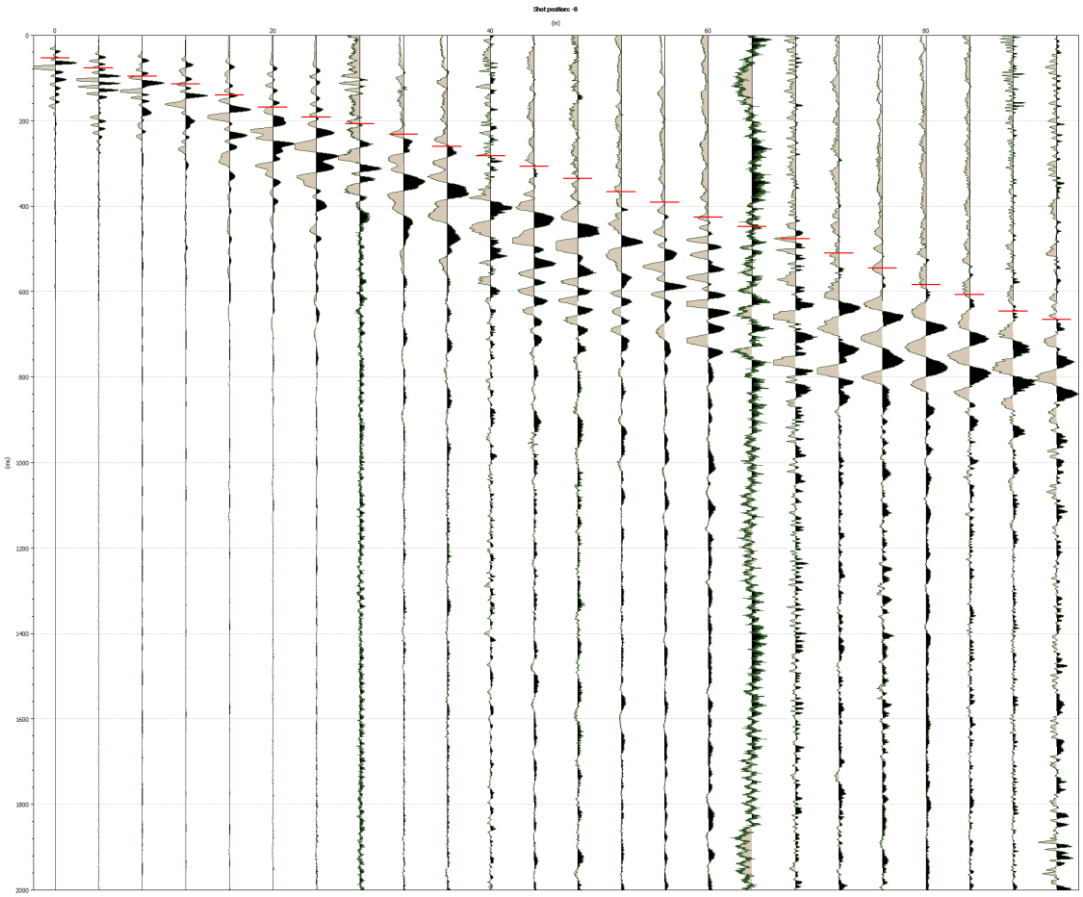
Figura 3-41– Ubicazione TS 11 e schema di acquisizione dati.

La tabella seguente contiene le informazioni relative alla distanza progressiva tra gli scoppi eseguiti.

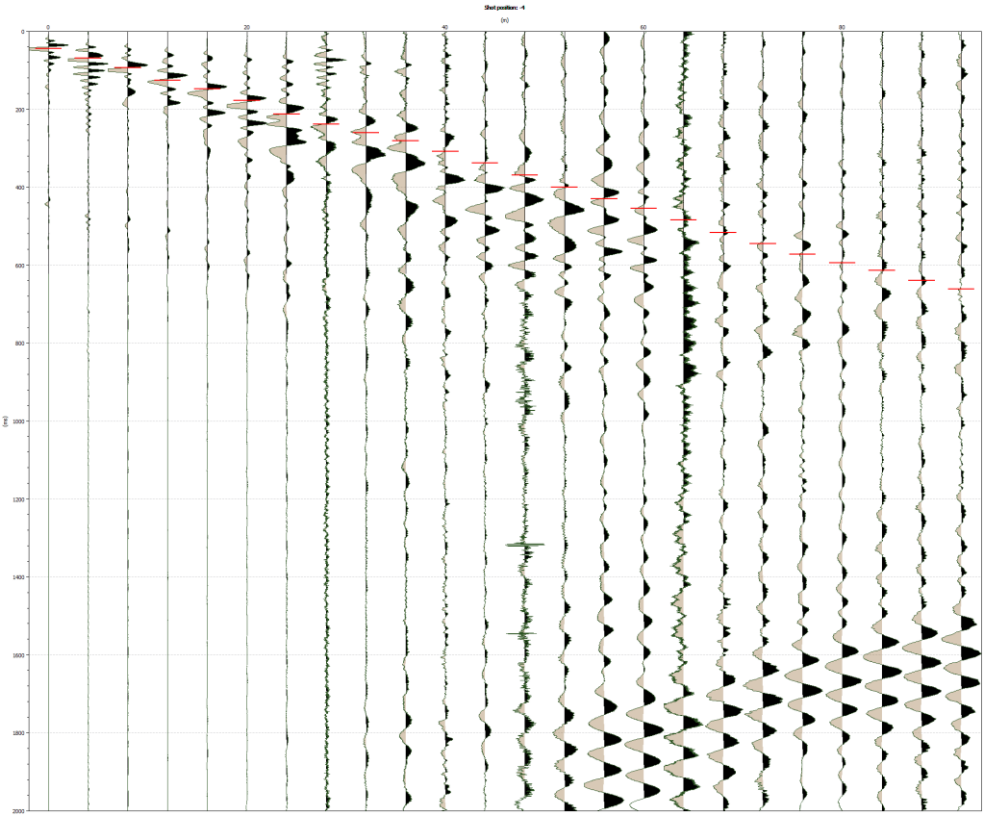
Ascissa [m]	Quota [m]	Nome File
-8.00	0.00	E1
-4.00	0.00	A
26.00	0.00	D1
46.00	0.00	C
70.00	0.00	D2
96.00	0.00	B
100.00	0.00	E2

Tabella 17 Posizione degli scoppi TS 11

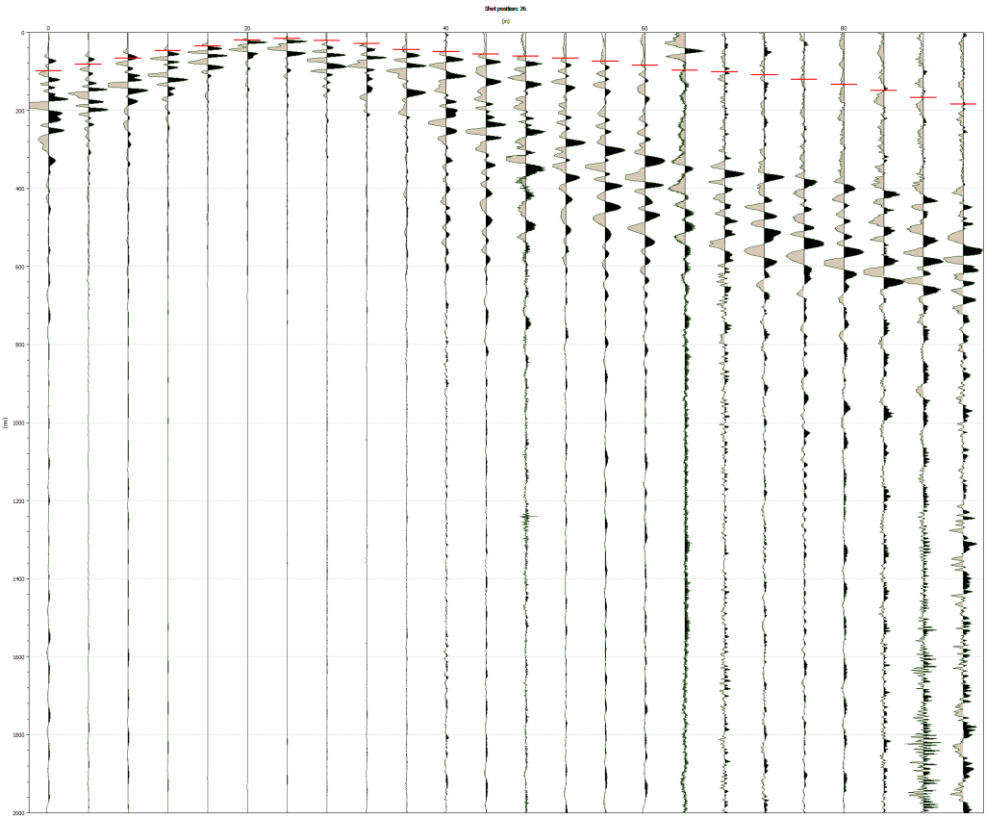
SCOPPIO E1



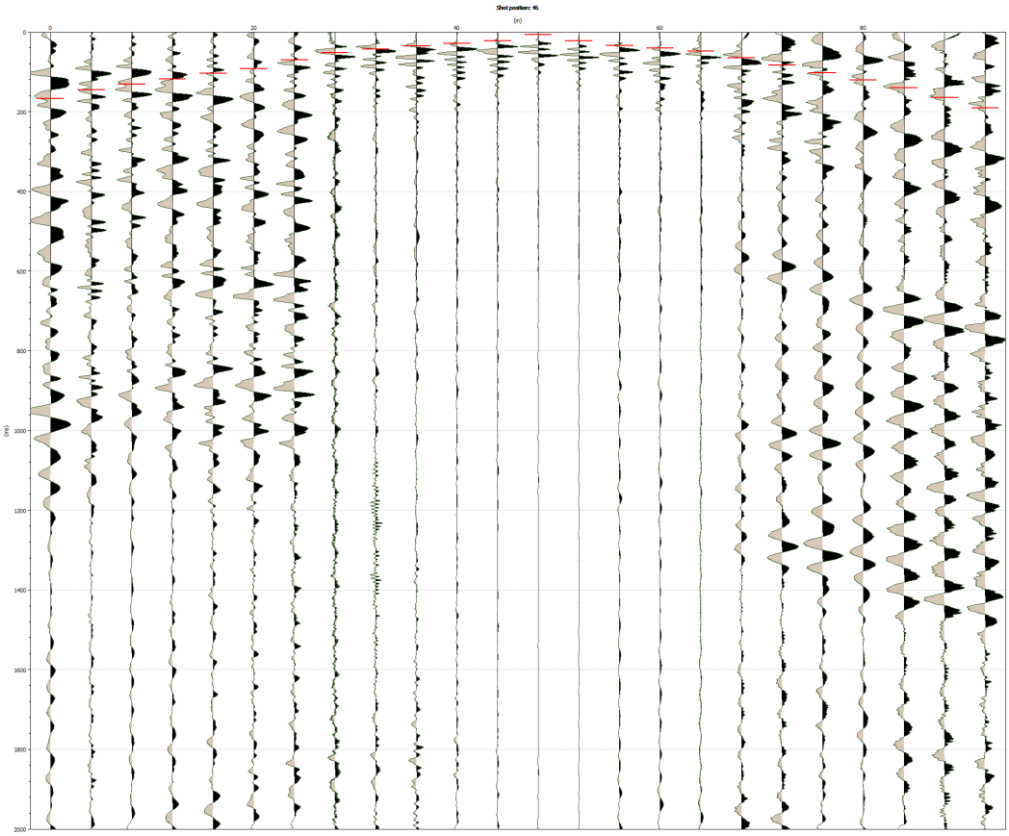
SCOPPIO A



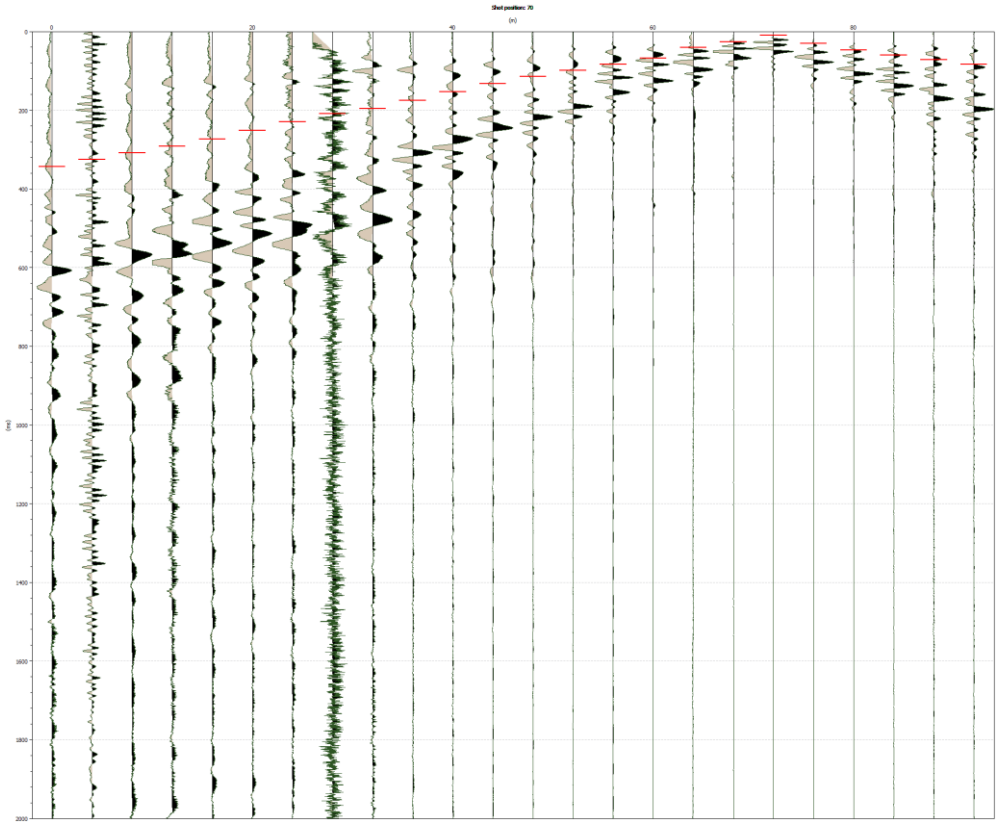
SCOPPIO D1



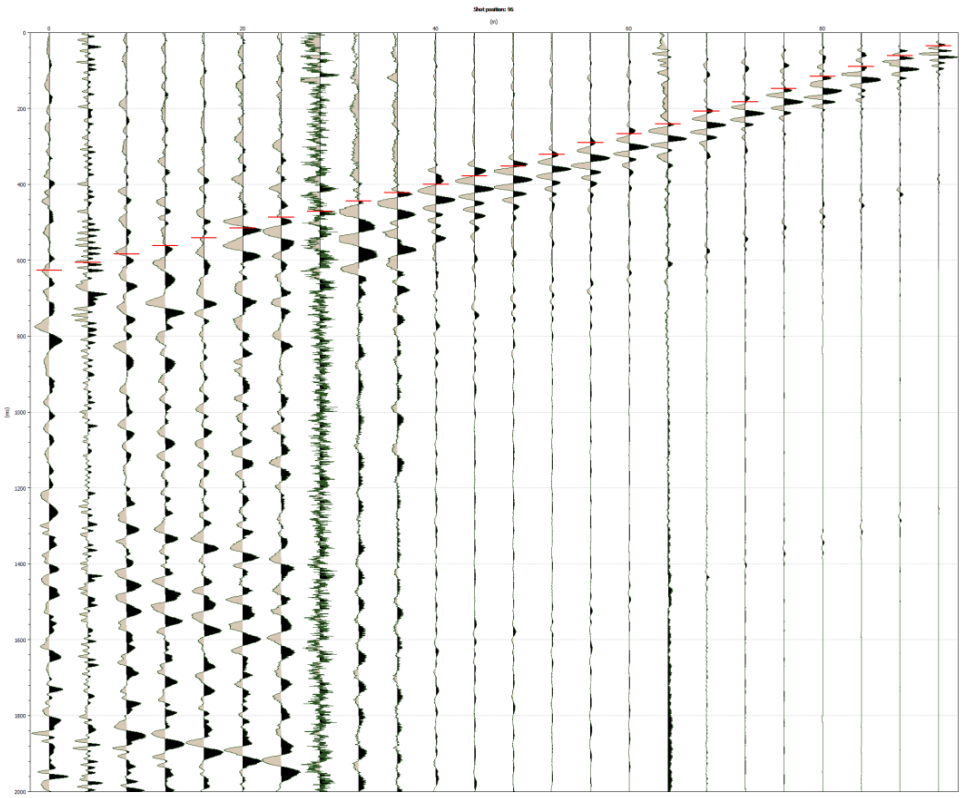
SCOPPIO C



SCOPPIO D2



SCOPPIO B



SCOPPIO E2

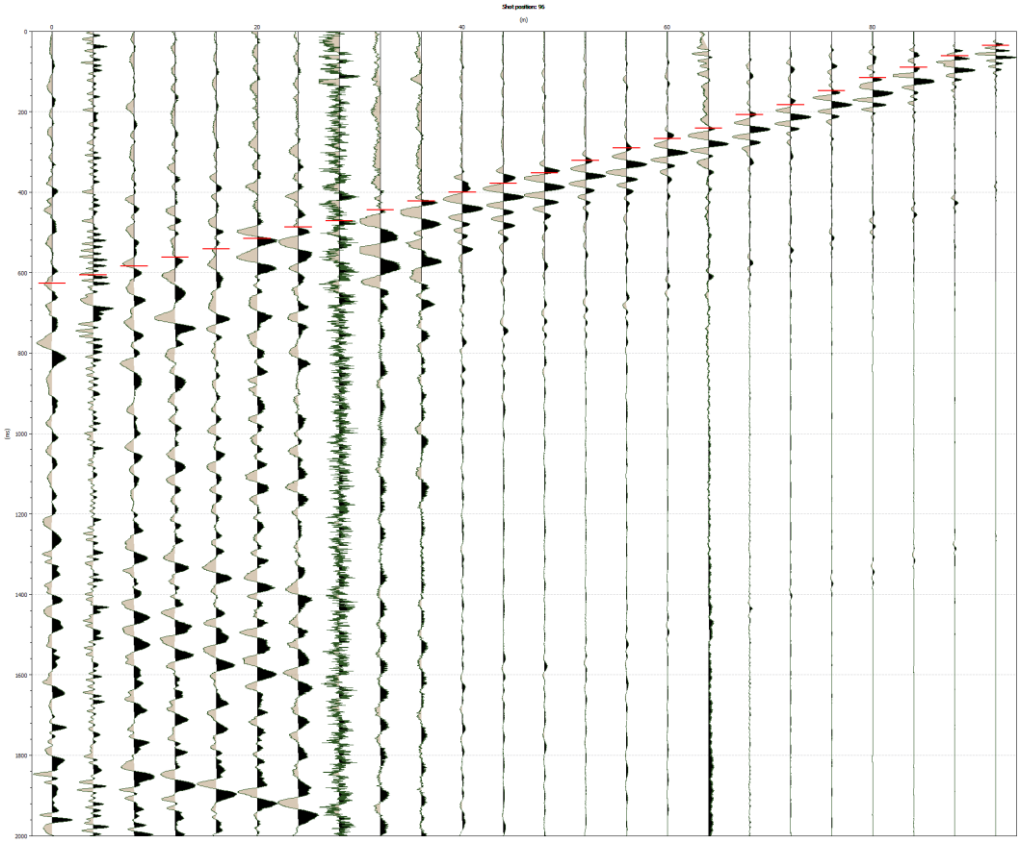


Figura 3-42 Picking dei primi arrivi relativi agli scoppi E1, A, D1, C, D2, B, E2

ID:geophone#	X	Y	1.sg2	2.sg2	3.sg2	4.sg2	5.sg2	6.sg2	7.sg2
0:0	0	0	0.0533485 0.0320396	0.0442679 0.0160396	0.0987514 0.098764	0.167991 0.166981	0.342792 0.412187	0.626561 0.599787	0.627696 0.602513
1:0	4	0	0.077185 0.0480396	0.0692395 0.0320396	0.0817253 0.0823351	0.145289 0.143994	0.324631 0.398532	0.606129 0.586132	0.607264 0.588858
2:0	8	0	0.0964813 0.0642751	0.0942111 0.0482751	0.0669694 0.0718761	0.131669 0.130853	0.30874 0.256183	0.583428 0.59802	0.587968 0.600746
3:0	12	0	0.114642 0.0815101	0.125993 0.0655101	0.0476731 0.0479698	0.118048 0.125561	0.291714 0.220366	0.561862 0.582757	0.561862 0.585483
4:0	16	0	0.140749 0.0972196	0.148695 0.0812196	0.0351873 0.0400396	0.104427 0.106191	0.273553 0.200995	0.54143 0.54281	0.53689 0.545535
5:0	20	0	0.169126 0.11303	0.178207 0.0970298	0.0204313 0.0240396	0.091941 0.0903434	0.251986 0.185148	0.515323 0.519285	0.514188 0.522011
6:0	24	0	0.191827 0.12903	0.212259 0.11303	0.015891 0.00803961	0.0703746 0.0744802	0.229285 0.164536	0.486947 0.395793	0.481271 0.398518
7:0	28	0	0.207719 0.14503	0.238365 0.12903	0.0215664 0.00803961	0.0522134 0.058401	0.208854 0.155387	0.471056 0.471357	0.46311 0.474082
8:0	32	0	0.231555 0.161109	0.259932 0.145109	0.0295119 0.0242376	0.0431328 0.042401	0.196368 0.139387	0.443814 0.44179	0.440409 0.444516
9:0	36	0	0.259932 0.177109	0.281498 0.161109	0.0442679 0.0402376	0.0351873 0.0400396	0.174801 0.137224	0.422247 0.241465	0.417707 0.262295
10:0	40	0	0.282633 0.194686	0.30874 0.178686	0.0499432 0.0562376	0.0295119 0.0240396	0.153235 0.121224	0.400681 0.225465	0.392736 0.246295
11:0	44	0	0.307605 0.212247	0.338252 0.196247	0.0556186 0.0584802	0.0227015 0.00803961	0.132804 0.105145	0.37798 0.209386	0.371169 0.230216
12:0	48	0	0.335982 0.22745	0.368899 0.21145	0.061294 0.0744802	0.00681044 0.00803961	0.114642 0.0892196	0.351873 0.193461	0.351873 0.214291
13:0	52	0	0.366629 0.24326	0.400681 0.22726	0.0669694 0.0904802	0.0227015 0.0240396	0.0987514 0.073697	0.321226 0.177939	0.329171 0.198768
14:0	56	0	0.3916 0.410474	0.430193 0.247906	0.0737798 0.0962532	0.0340522 0.0299314	0.0839955 0.0572113	0.290579 0.161374	0.296254 0.182402
15:0	60	0	0.425653 0.436925	0.45403 0.430078	0.0851305 0.0976243	0.0408627 0.0493412	0.0681044 0.0402376	0.266742 0.145109	0.269012 0.161505
16:0	64	0	0.448354 0.47776	0.484677 0.470914	0.0976163 0.116881	0.0488082 0.068598	0.0408627 0.0243819	0.240636 0.129253	0.238365 0.145649
17:0	68	0	0.476731 0.442598	0.516459 0.435752	0.101022 0.137428	0.0646992 0.0891447	0.0261067 0.00803961	0.207719 0.11303	0.213394 0.129426
18:0	72	0	0.509648 0.538585	0.544835 0.531739	0.108967 0.153428	0.0839955 0.105145	0.0102157 0.00803961	0.182747 0.0970298	0.185017 0.113426
19:0	76	0	0.544835 0.569464	0.572077 0.562617	0.120318 0.169428	0.103292 0.121145	0.030647 0.0240396	0.148695 0.0810298	0.150965 0.0974259
20:0	80	0	0.583428 0.600554	0.593644 0.593707	0.133939 0.182328	0.120318 0.134045	0.0476731 0.0369401	0.115778 0.0650672	0.125993 0.0810672
21:0	84	0	0.607264 0.593015	0.61294 0.586168	0.14983 0.193611	0.140749 0.145328	0.0601589 0.0482226	0.0896708 0.0484357	0.0998865 0.0654093
22:0	88	0	0.645857 0.575954	0.639047 0.569108	0.166856 0.338248	0.164586 0.165984	0.0715096 0.0689974	0.061294 0.0320396	0.0749149 0.0480396
23:0	92	0	0.665153 0.585451	0.661748 0.578604	0.183882 0.347744	0.190692 0.185117	0.0839955 0.0838597	0.0351873 0.0160396	0.0419977 0.0320396

Tabella 3-20 Posizione dei geofoni e primi arrivi.

La determinazione dei primi arrivi ha consentito di ricavare le curve tempo-distanza (dromocrone) riportate nella seguente figura:

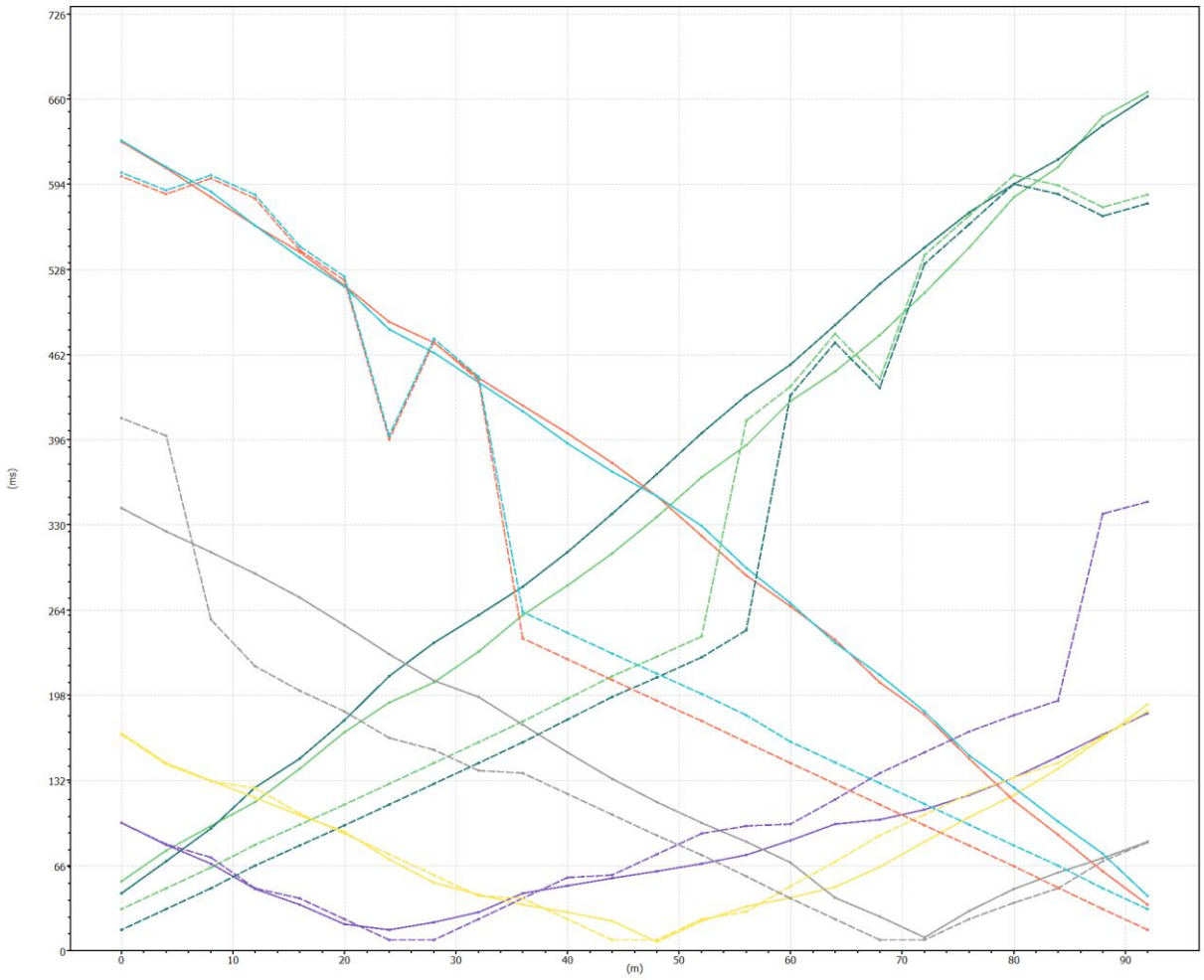


Figure 3-43 Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

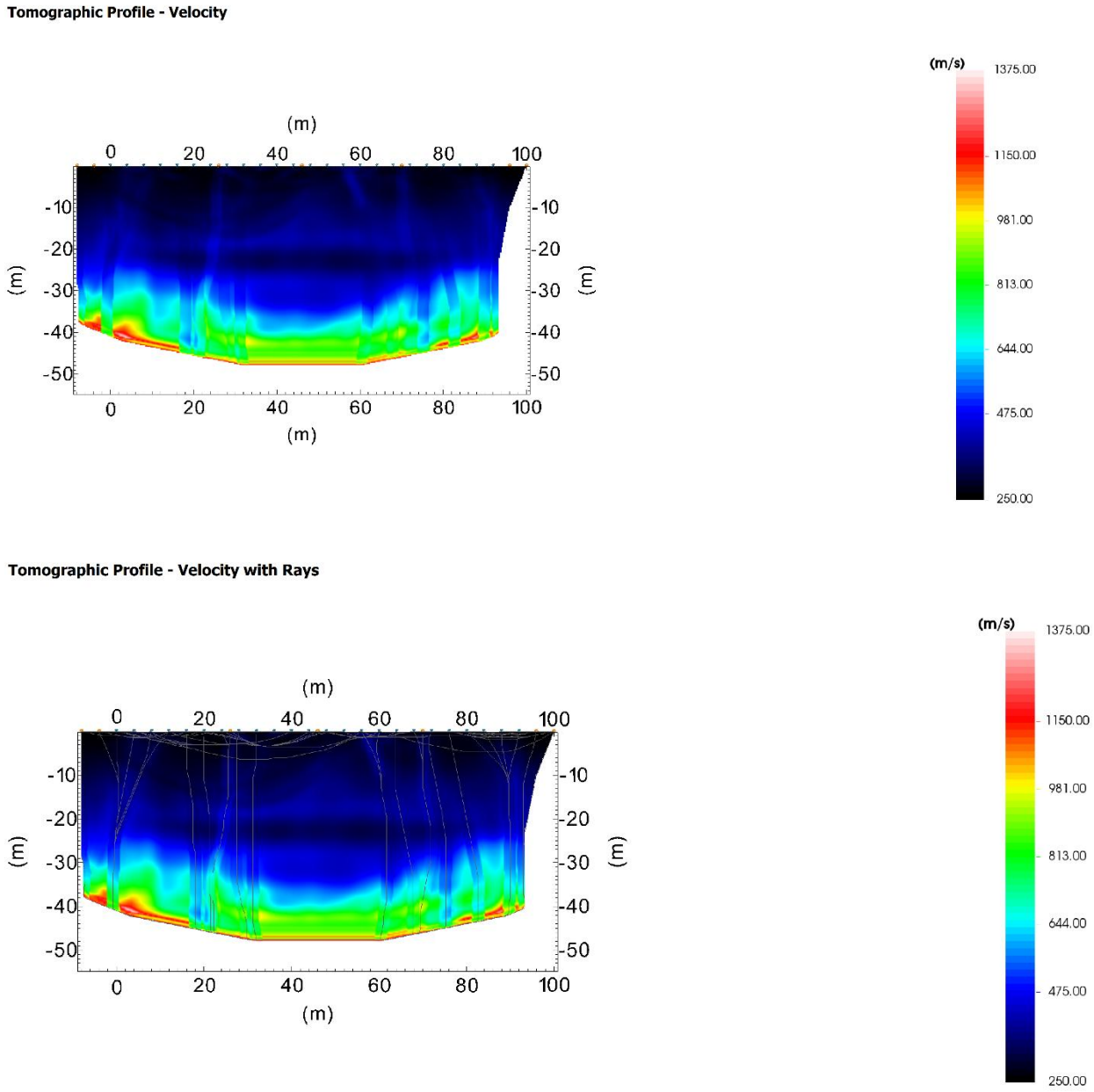


Figura 3-44 Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

ALLEGATI

ALLEGATO A: Cenni sulla propagazione delle onde superficiali di Rayleigh nel terreno.

Quando si effettuano degli scoppi sulla superficie del terreno si generano tutti i tipi di onde. Risulta, pertanto, opportuno effettuare una prima suddivisione in Onde di Volume (*Onde P* ed *Onde S*) ed Onde Superficiali (*Rayleigh e Love*). La tecnica M.A.S.W. utilizzata prevede lo studio della propagazione delle onde superficiali nel terreno. In particolare, per il presente lavoro si è deciso di analizzare le *Onde di Rayleigh* in quanto sono quelle che forniscono un contributo predominante, in termini di energia trasmessa, rispetto alle *Onde di Love*. Le *Onde di Rayleigh* si trasmettono con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde stesse. In un mezzo stratificato queste onde sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente *la velocità di fase (di gruppo) apparente delle Onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.* La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi forniscono informazioni sulla parte più **superficiale del terreno; onde a bassa** frequenza, invece, tendono a propagarsi in profondità è quindi danno informazioni sugli strati più profondi del sottosuolo (Figura A.2).

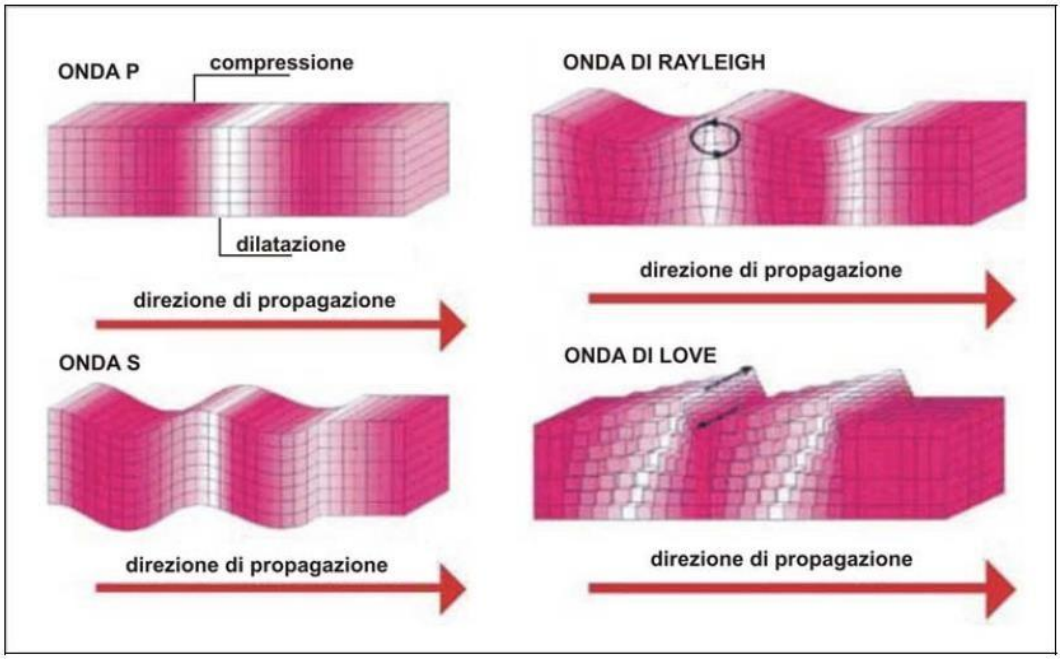


Figura A.1 -: Propagazione delle onde utilizzate nelle prospezioni geologiche

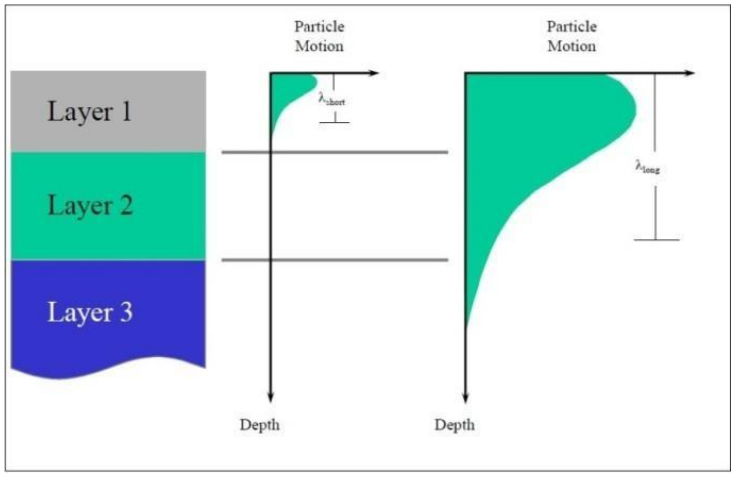


Figura A.2 -: Propagazione in profondità delle onde in funzione della lunghezza d'onda

Nel metodo attivo d'indagine M.A.S.W. le onde superficiali sono generate artificialmente in un punto sulla superficie del suolo e vengono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Tale metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 3Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo (circa -50 m di profondità dal p.c.). Acquisiti i dati di campagna il metodo utilizzato si sviluppa in quattro fasi: La prima fase prevede la trasformazione dei dati acquisiti dal dominio del tempo al dominio frequenza (f) – numero d'onda (K) o frequenza (f) – velocità di fase (v) mediante l'applicazione della Trasformata di Fourier. Il grafico che descrive l'andamento della velocità di fase in funzione della frequenza prende il nome di "*curva di dispersione*"; La seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f-k (o f-v) cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle *Onde Rayleigh* nel piano velocità di fase (m/s) - frequenza (Hz); La terza fase consiste nella determinazione della *curva di inversione* e può essere eseguita utilizzando due metodologie: 1) la "*modellazione diretta*" e 2) "*picking"* della curva di dispersione. Il primo metodo consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali VS, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio VS e di compressione VP (queste ultime ottenute attraverso l'esecuzione di una prova di sismica a rifrazione contestualmente eseguita). Tale modellazione è iterativa in quanto si modifica la curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo. Il secondo metodo, utilizzato nel caso specifico, consiste nell'individuazione dei modi e relativo *picking* nel dominio velocità di fase-frequenza per la successiva fase di

inversione dei dati. È opportuno calibrare il modello mediante l'inserimento di informazioni stratigrafiche (derivanti da ulteriori indagini e rilievi) ed informazioni inerenti la densità degli strati che costituiscono il modello del suolo; La quarta ed ultima fase consiste nell' inversione della curva di dispersione al fine di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio (VS). La disposizione geometrica dei ricevitori in una prova M.A.S.W. è del tipo "*base distante in linea*" con la sorgente sismica posta agli estremi della linea (Figura A.3 **-***: Esempio di disposizione sorgente - ricevitori*).

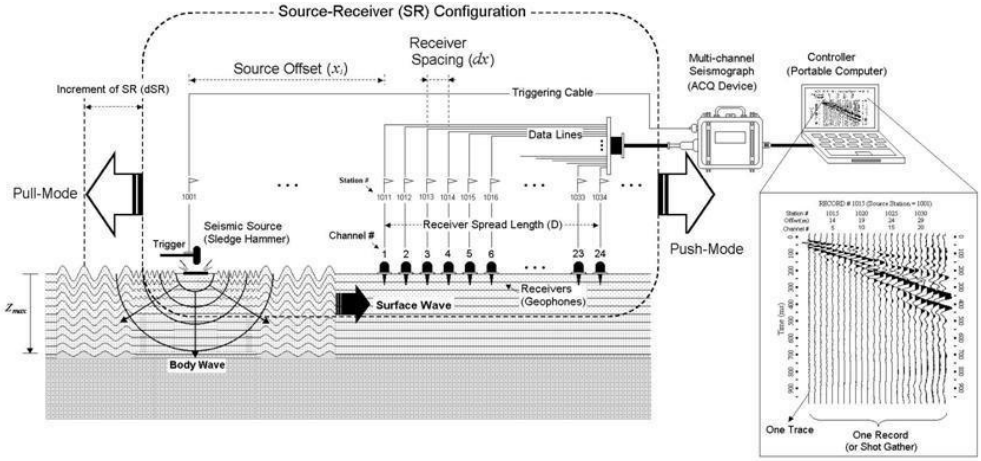


Figura A.3 -: Esempio di disposizione sorgente - ricevitori

ALLEGATO B: Cenni sulla propagazione delle onde di volume nel terreno.

La sismica a rifrazione si basa sullo studio della propagazione delle onde acustiche nei corpi solidi, generate da una sorgente energizzante (che può essere costituita da un martello percussore, da una massa battente o da una piccola carica esplosiva). Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo con velocità differenti in funzione dei diversi litotipi attraversati e sono soggette, lungo le superfici di discontinuità geologica, a fenomeni di rifrazione, riflessione e diffrazione. Le superfici di separazione di differenti litotipi, caratterizzati da diverse velocità degli strati, producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica. Una delle condizioni essenziali per l'applicazione della metodologia della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità (V1 < V2). Un alto limite della metodologia è legato allo spessore degli strati in quanto, se troppo piccoli, non si riesce a rilevarli (in generale h2/h1 ≤ 0.3 altrimenti lo strato viene definito "*cieco*"). Ulteriore limitazione della metodologia è legata alla presenza di uno strato lento tra due strati veloci (V1 > V2 < V3); in tali condizioni non si riesce a rilevare il secondo strato (quello più lento). Attraverso lo studio dei tempi di percorso, e quindi delle velocità, è possibile risalire alla disposizione geometrica ed alle caratteristiche meccanico-elastiche dei litotipi indagati. Tale metodologia, nonostante le limitazioni intrinseche che presenta, risulta particolarmente utile qualora si voglia procedere ad una mappatura delle zone formate da materiale disgregato, ricerca della profondità della falda freatica, determinazione della resistenza allo scavo, mappatura della permeabilità degli strati ghiaiosi, mappatura degli strati composti da materiale sciolto, localizzazione delle zone di frattura, mappatura del substrato roccioso. Il Comportamento Sismico Delle Onde P Le onde P vengono anche dette onde primarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con una velocità maggiore rispetto agli altri tipi di onde. Durante la propagazione di tali onde il terreno subisce delle compressioni e dilatazioni il cui verso di propagazione è coincidente con quello dell'onda. La velocità di propagazione delle onde P nel terreno dipende dalle proprietà fisiche del mezzo (rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno. Dalla sorgente energizzante viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi (geofoni) ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onde è chiamata "*sismogramma*". I fronti d'onda possono essere superfici sferiche o di forma qualsiasi. Il principio di Huygens, basilare nello studio di qualsiasi perturbazione ondosa, stabilisce che "*in ogni istante, qualsiasi punto di fronte d'onda di forma qualsiasi può essere*

considerato come sorgente puntiforme di onde circolari (o sferiche se la perturbazione è in tre dimensioni)". La propagazione delle onde può, quindi, essere interpretata come una continua generazione di onde circolari che, interferendo fra loro, danno origine ad un'onda risultante osservabile macroscopicamente. Le semirette normali ai fronti d'onda vengono chiamate "*raggi sismici*" ed indicano la direzione di propagazione dell'onda elastica. Per l'analisi dei dati ottenuti da un'indagine di sismica a rifrazione si considerano sia le immagini delle onde sismiche sia il percorso dei raggi sismici. Quest'ultimi possono sostituire il fronte d'onda, con una buona approssimazione, permettendo di trattare solo i tempi di percorso delle onde elastiche e non tutte le altre grandezze tipiche di un fenomeno ondulatorio (ampiezza, frequenza e fase). Quando un raggio incontra una superficie di separazione (es: un contatto litologico) il raggio incidente si trasforma in diversi nuovi raggi. Gli angoli che il raggio incidente, i raggi riflessi ed i raggi rifratti formano con la normale alla superficie di discontinuità sono legati fra loro ed alle velocità di propagazione da alcune relazioni note come "*Legge di Snell*" (*cfr. Fig. B.1*). Tale legge afferma che il raggio incidente, riflesso e rifratto giacciono sullo stesso piano; inoltre, valgono le seguenti relazioni tra gli angoli: per la riflessione: $\alpha = \gamma$ per la rifrazione: $V1 \sin \alpha = V2 \sin\beta$

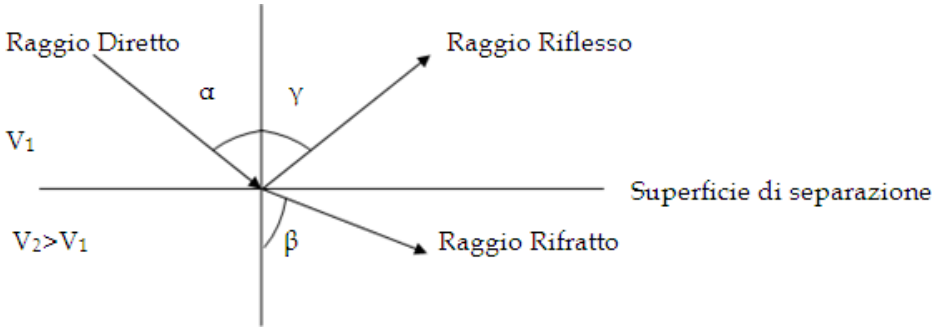


Figura B.1 -: Applicazione della legge di Snell

Esiste un particolare valore dell'angolo di incidenza, chiamato "angolo critico" o "angolo limite" (i_c), particolarmente importante per la sismica a rifrazione. Si definisce, infatti, angolo critico l'angolo di incidenza che rende $\beta = 90°$. Se l'angolo di incidenza è uguale a 90° l'onda rifratta, in accordo con il principio di Huygens, si propaga lungo la superficie di separazione e funge da fronte per un nuovo fronte d'onda secondario e per nuovi raggi. I percorsi dei raggi sismici escono con un valore dell'angolo pari all'angolo critico (*Figura B.2*). È possibile determinare l'angolo critico calcolando l'inverso del seno del valore di velocità del primo strato/velocità del secondo strato (sen $i_c = V1/V2$). Se l'angolo d'incidenza è maggiore dell'angolo critico il fenomeno della rifrazione scompare e si ha riflessione totale, senza propagazione dell'onda nel secondo strato.

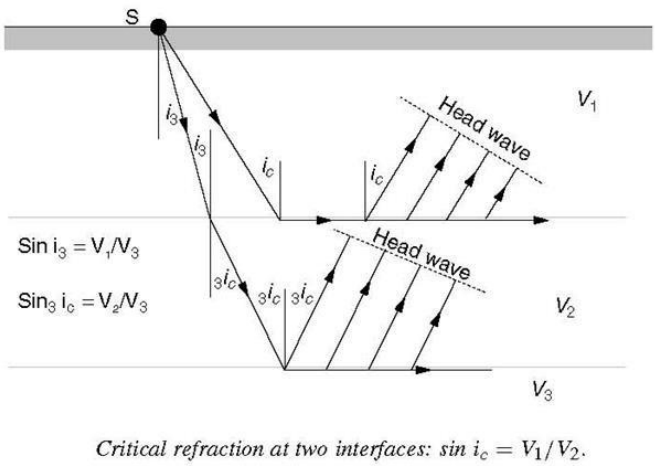


Figura B.2 -: Applicazione del principio di Huygens

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI Effettuata la fase di acquisizione dati, dagli *shot records* è possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, rifratte e riflesse). A piccole distanze (offset) il primo arrivo delle onde è sempre dell'onda diretta: questo arrivo è caratterizzato da una grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze. A distanze maggiori, invece, il primo arrivo è dovuto all'onda rifratta e risulta caratterizzato da piccole ampiezze d'onda e da scostamento costante ma minore rispetto a quello dell'onda diretta. L'ultimo arrivo in ogni geofono è legato alle onde riflesse, il cui scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica (*Figura B.3*). Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si chiama "*curva di propagazione*" o "*dromocrona*" ("*travel time curve*"). Definirne l'andamento è di fondamentale importanza per l'interpretazione della sismica a rifrazione.

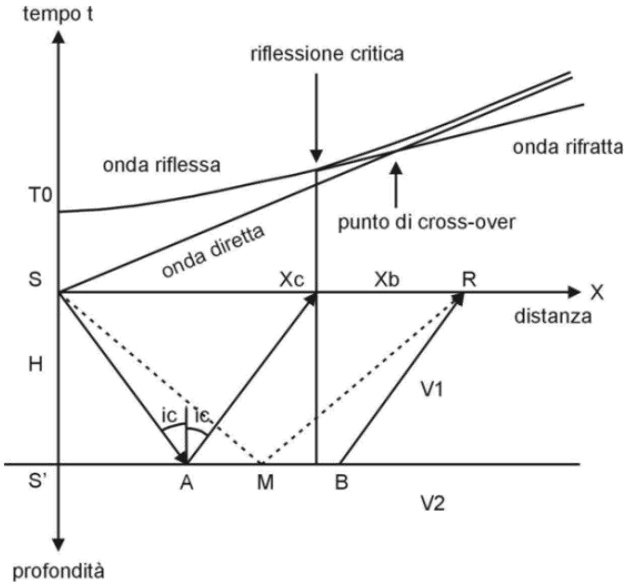


Figura B.3 -: Tempi di arrivo delle differenti onde sismiche

Esistono differenti metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione che possono essere raggruppati in tre classi principali: Metodi dei tempi d'intercetta (ITM – Intercept – Time Method); Metodi dei tempi di ritardo o Reciproci (DTM – Delay Time Method) Metodi di Ray Tracing. Il metodo qui utilizzato nella presente relazione è il **Metodo del Reciproco Generalizzato (GRM)** di seguito illustrato. **METODO GRM (Generalized Reciprocal Method)** Questo metodo è stato sviluppato da Palmer per sopperire ad alcune limitazione che affliggevano i metodi più semplici quali, ad esempio, la presenza di superfici (topografiche o del sottosuolo) particolarmente accidentate. Il metodo utilizza due funzioni: la funzione analisi di velocità e la funzione tempo-profondità. ***La funzione analisi di velocità.*** La particolarità del metodo è l'uso degli arrivi diretti ed inversi a due geofoni, posti ad una distanza XY. Se la posizione di XY è scelta in modo che il punto di emersione del rifrattore sia comune, il tempo percorso (e quindi il calcolo delle velocità) dipenderà soltanto dalle caratteristiche del materiale attraversato.

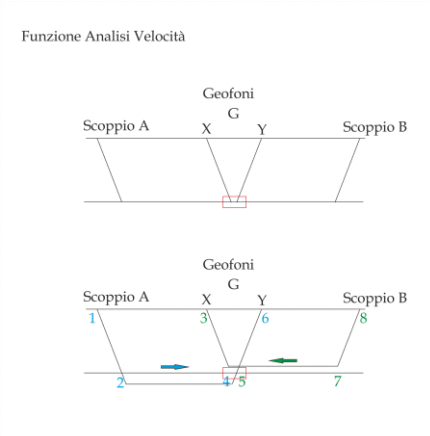


Figura B. 4: Funzione Analisi Velocità – Metodo GRM

Riferendosi alla Figura B.4, la funzione analisi di velocità è definita dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} - t_{BX} + t_{AB}}{2}$$

tAY = (12) + (34) + (45) + (56)

tBX = (78) + (57) + (45) + (34)

tAB = (12) + (24) + (45) + (57) + (78)

$$t = \frac{2(12) + 2(24) + (45)}{2}$$

dove:

(12), (34), (45) ecc. indicano le distanze tra i rispettivi punti considerati. Il valore di questa funzione è riferita al punto mediano G fra X ed Y. Producendo i grafici del tempo di percorso in relazione alla posizione dei geofoni è possibile derivare la velocità del rifrattore (V2), indipendentemente dall'inclinazione e dalla topografia. Ciò che influenza

maggiormente il calcolo è la scelta dei geofoni XY.

La funzione Tempo - Profondità Il metodo prevede la creazione di funzioni tempo-profondità per ciascun geofono. Facendo riferimento alla figura precedente, la funzione generalizzata tempo-profondità è definita dall'equazione:

$$t = \frac{t_{AY} + t_{BX} - (t_{AB} + \frac{XY}{V2})}{2}$$

Calcolo del valore di XY ottimale La valutazione della distanza XY ottimale può essere ottenuta utilizzando le velocità e gli spessori di strato precedentemente calcolati: se sono noti spessori e velocità di ciascun strato, il valore XY per ogni strato può essere calcolato direttamente quindi, applicando un procedimento iterativo, è possibile determinare tali valori automaticamente e con notevole precisione.

INVERSIONE TOMOGRAFICA

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure "virtuali" registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi:

- Nella fase "diretta" vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo dell'impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 (1991): 59-67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della cella sono presenti più nodi (il numero è scelto dall'utente) che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anch'essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con i nodi delle celle adiacenti.

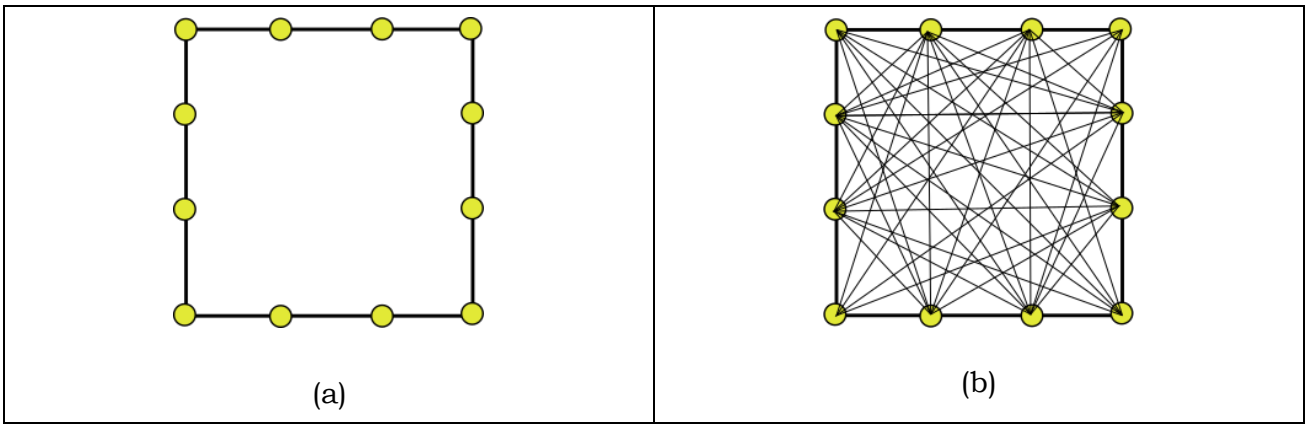


Figura B4 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la

precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l'uso di memoria.

Il percorso delle onde rifratte corrisponde al percorso lungo i raggi sismici che impiega il minor tempo a percorrere il tragitto tra la sorgente ed il ricevitore.

- Nella fase "inversa" i tempi sintetici calcolati nel passo "diretto" vengono confrontati con i tempi misurati; le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle "Simultaneous Iterative Reconstruction Technique"). Nell'applicazione di questo metodo la velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza. Quindi considerando un generico raggio sismico j tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può essere espressa come:

  $$S_j = {}^{t}0j/l_j$$

  dove t0j rappresenta il tempo misurato tra la sorgente ed il ricevitore e lj rappresenta la lunghezza del raggio sisimico j-esimo. Pertanto, conoscendo i tempi di percorso misurato tm e tc per il raggio j-esimo si può calcolare il residuo del tempo di percorso:

  $$\Delta t_j \quad = t_{mj} - t_{cj}$$

  Il residuo dei tempi di percorso può essere proiettato su ciascuna cella k su cui può essere calcolato anche il fattore di correzione della lentezza:

  $$\sum \Delta t_{ik}\, \Delta S_k = {}_{\sum \Delta l}\, ik$$

  L'indice i indica ciascun raggio sismico incidente sulla cella k-esima. Il fattore di correzione della lentezza verrà utilizzato per aggiornare il modello di velocità alla fine di ogni iterazione del ciclo di risoluzione. Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

ALLEGATO C: Specifiche Tecniche Sismografo GEA 24 della PASI

Numero di canali	24 can. + Trigger (can. Aux) – 2 unità serializzabili per un totale di 48 can.
Conversione dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo di Campionamento	Acquisizioni a pacchetto: -fino a 125 microsec (8000 sps) con 24 can. -fino a 31,25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: -fino a 4000 micros (250 sps) con 24 can. Fino a 500 microsec (2000 sps) con 3 can.
Lunghezza di acquisizione	27500 campioni@24canali (+aux) 174500campioni@3canali (+aux) Nr. di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Nr. di stacking illimitato
Impedenza ingresso	2 MOhm//22nF
Rapporto S/N	117 dB @ 1 ksps
Distorsione	0,007% @ 16 Hz
Largh. Banda -3dB	6.8Hz@32ksps – 0,21 Hz@1ksps
Largh. Banda ± 0.1dB	3.5Hz@32ksps – 0,11 Hz@1ksps
Filtri	Passa Basso: 125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri “notch”	50-60 Hz + armoniche
Trigger	Segnale analogico (starter piezoelettrico)
Visualizzatore tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / Area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1xUSB 2.0 per PC esterno
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0,25 A
Temp. Operativa/stoccaggio	da -30°C a +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensate
Dimensioni	24cm x 19,5cm x 11cm

ALLEGATO D: Report fotografico

Foto D.1: Stendimento TS1 + MASW1

Foto D.2: Stendimento TS2 + MASW2

Foto D.3: Stendimento TS3 + MASW3

Foto D.4: Stendimento TS4 + MASW4

Foto D.5: Stendimento TS5 + MASW5

Foto D.6: Stendimento TS6 + MASW6

Foto D.7: Stendimento TS7 + MASW7

Foto D.8: Stendimento TS8 + MASW8

Foto D.9: Stendimento TS9 + MASW9

Foto D.10: Stendimento TS10 + MASW10

Foto D.11: Stendimento TS11 + MASW11

RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA

HVSR

Sommario

1 PREMESSA *2*

2 INDAGINE HVSR *5*

2.1 Cenni metodologici sulla tecnica HVSR 5

2.2 Cenni teorici sulla tecnica HVSR 7

2.3 Strumentazione utilizzata 9

2.4 HVSR 1 10

2.5 HVSR 2 13

2.6 HVSR 3 16

2.7 HVSR 4 19

2.8 HVSR 5 21

2.9 HVSR 6 25

1 PREMESSA

Lo scopo delle indagini è finalizzato ad ottenere informazioni su eventuali fenomeni di amplificazione locale del sito in esame, dovuta ad effetti stratigrafici, sia pure in maniera indiretta.

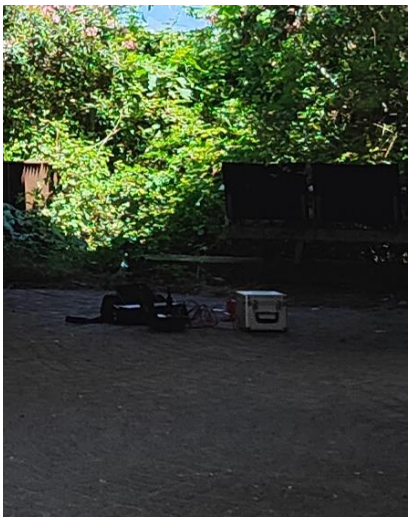
Complessivamente sono state realizzate 6 misure del rumore sismico ambientale, sottoposte successivamente poi ad analisi HVSR.

Nello specifico sono state eseguite due fasi esecutive, nella prima sono state acquisite ed analizzate le HVSR dalla numero 1 alla 3, successivamente sono state acquisite ed elaborate le HVSR dalla 4 alla 6

Di seguito si riportano le foto delle esecuzioni indagini svolte,

HVSR1

HVSR2



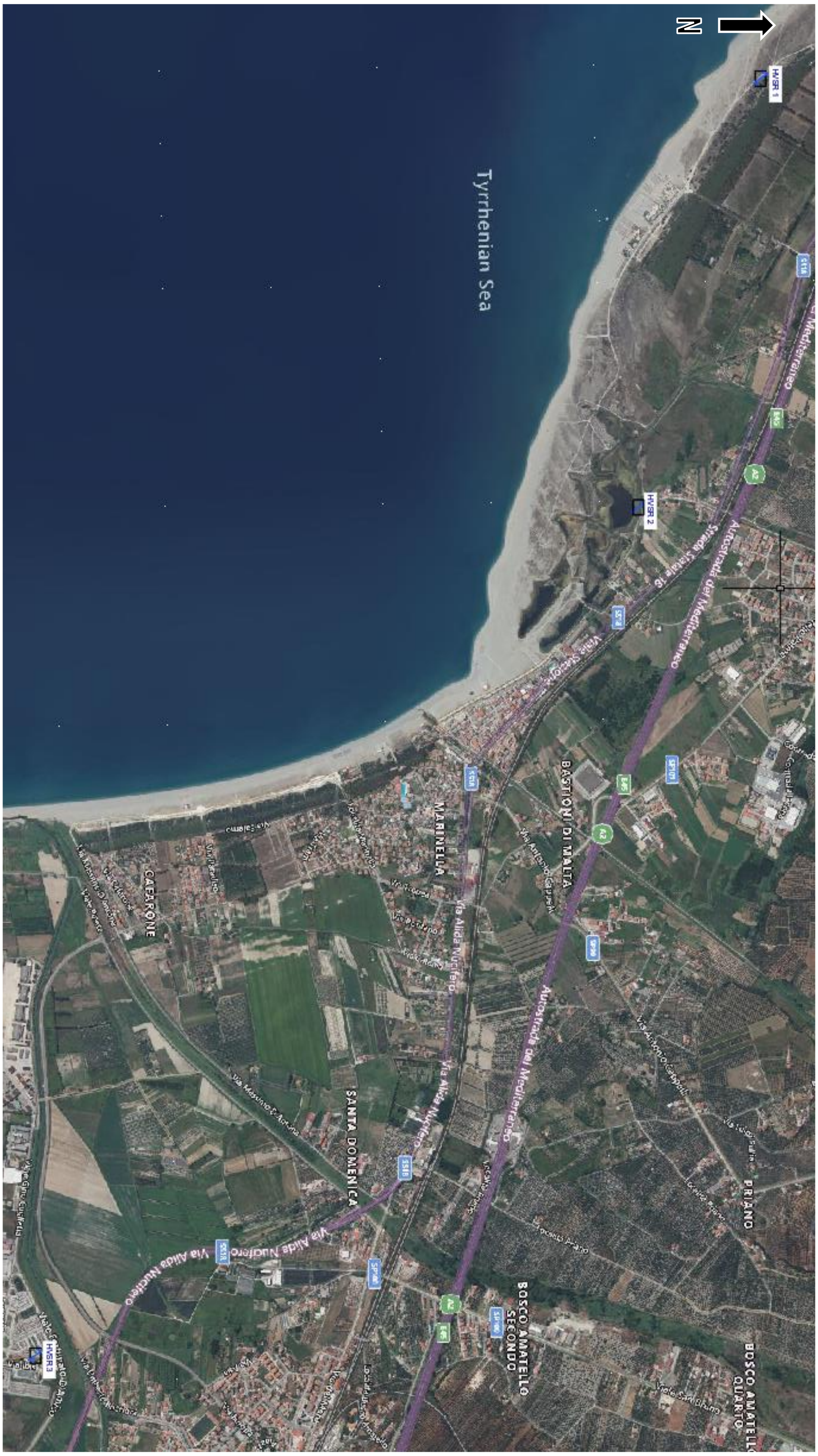
HVSR3

HVSR4

HVSR5

HVSR6

Mente per quanto concerne la localizzazione delle prove svolte si riporta uno stralcio planimetrico fuori scala.



Pub925
Cafe Pasha
Sfizio D'Autore
Ufficio Postale Poste Italiane
SS18
SP99
L'Antenna Di Ferraiuolo Manuel pesca e sport...
Ncc Taxi Lamezia Domenicano Antonio
Lido Bala di Eolo
Eco del Mare di Francesco Argento
Momo Sushi e
Via Porto
Terrazza sul Mare
lamezia terme cz
Lido Gizzeria - Spiaggia Libera
Pasticceria Damiano
HVSR 4

Ristorante Pesce Fresco dal 1950 - Gizzeria Lido
Località Marina di Lamezia
HVSR 6
HVSR 5
Image © 2024 Airbus

2 INDAGINE HVSR

2.1 Cenni metodologici sulla tecnica HVSR

La tecnica HVSR consiste nella misura passiva di rumore sismico ambientale (microtremori), ovvero di oscillazioni continue di piccola ampiezza originate dalla sovrapposizione di effetti generati sia da sorgenti naturali (perturbazioni meteorologiche a larga scala, vento, onde oceaniche,…) che da sorgenti antropiche (traffico, attività industriali,…).

Le linee guida della tecnica per l'ottimizzazione del rilievo sono state illustrate dal progetto SESAME (Site EffectSassessmentusing Ambient Excitation); in particolare, nell'effettuare la misura, il protocollo sperimentale raccomanda di:

- verificare il buon accoppiamento tra il sensore e il terreno;
- verificare la sufficiente distanza da edifici, alberi, strutture in elevazione;
- verificare l'assenza di sorgenti dominanti di rumore o sorgenti ad elevata intensità in prossimità del sito di misura.

Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- sorgenti di rumore uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventualepresenzadi transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito (frequenza di risonanza).

Possono esistere anche picchi HVSR di natura antropica ma questi sono solitamente molto stretti e si presentano come picchi positivi, di diversa ampiezza, su tutte e tre le componenti (verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest) del moto mentre generalmente il picco HVSR di origine naturale è determinato da una depressione nello spettro di ampiezza della componente verticale.

Criteri di ammissibilità

Dopo aver calcolato la curva HVSR media occorre eseguire le verifiche di attendibilità del risultato in termini di affidabilità e di chiarezza del picco massimo in frequenza.

Le condizioni di affidabilità della curva HVSR sono indicate nella Tabella 1; i ricercatori del progetto SESAME suggeriscono di ritenere affidabile una curva HVSR che soddisfi tutti e 3 i criteri di affidabilità (criteria for a reliable H/V curve) e di ammettere come chiaro un picco che soddisfi almeno 5 su 6 dei criteri di chiarezza (criteria for a clear H/V peak).

Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1437.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 76 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.031 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.84 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00199| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00311 < 0.15625	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3107 < 1.78	OK	

Tabella1Condizioni di affidabilità della curva H/V e di chiarezza del picco H/V suggerite dal progetto SESAME

Il significato dei criteri di ammissibilità dei risultati è riportato qui di seguito. Condizioni di affidabilità della curva HVSR:

i) in corrispondenza della frequenza del picco di interesse, vi siano almeno 10 cicli significativi in ogni finestra temporale individuata nel segnale registrato.

ii) è necessario utilizzare un grande numero di finestre temporali e di cicli (almeno 200).

iii) il livello di scattering, cioè di dispersione delle curve HVSR, ottenute nelle diverse

finestre temporali deve essere moderato, altrimenti potrebbe essere sintomo di rumore ambientale fortemente non stazionario, che influenza la forma della curva HVSR in maniera non ripetibile.

Le condizioni i) e ii) confermano che la durata del segnale registrato sia sufficientemente estesa, la condizione iii) assicura che la curva HVSR misurata sia di buona qualità e poco dispersa.

Condizioni di chiarezza del picco massimo:

Le condizioni i) e ii) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione i)), sia a destra (condizione ii)) del picco. La condizione iii) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidezza tra gli strati.

Condizioni sulla stabilità della curva HVSR:

- il picco dovrebbe comparire alla stessa frequenza (entro il ± 5%) nelle curve H/V
- lo scarto quadratico medio σf deve essere inferiore ad un valore limite $\varepsilon(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato in tabella
- σA (f0) deve essere inferiore ad un valore limite $\theta(f)$ dipendente dalla frequenza come riportato in tabella.

In aggiunta alle condizioni sopra riportate occorre sempre verificare che:

- la frequenza di picco sia compatibile con la frequenza cut off del geofono.
- il picco individuato non sia di origine industriale o artificiale (riconoscibili nello spettro in ampiezza perché presentano un massimo su tutte e tre le componenti).

2.2 Cenni teorici sulla tecnica HVSR

La risonanza è un fenomeno fisico che interviene quando si verifica una variazione di impedenza acustica I tra due mezzi ($I=\rho v$, dove ρ è la densità del mezzo attraversato e v è la velocità di propagazione delle onde sismiche nello stesso). Nell'esempio semplificato di un sistema omogeneo e isotropo a due strati, quando all'interfaccia tra i due mezzi il rapporto delle impedenze supera il 25%, si genera un picco sulla curva del rapporto spettrale H/V in corrispondenza della frequenza di risonanza del sito (f0). Tale frequenza dipende dalla profondità dell'interfaccia che genera il contrasto di impedenza (H) e dalla velocità media di propagazione delle onde di taglio (Vs) nello strato superficiale secondo la formula $f0=Vs/4H$.

Da ciò ne consegue che, a parità di Vs dello strato più superficiale, maggiore è la frequenza del picco di risonanza del sito e minore è la profondità della discontinuità che lo genera all'interno del sottosuolo. Viceversa, l'assenza di picchi di risonanza significativi sulla curva del rapporto spettrale H/V, indica sostanziale omogeneità all'interno del sottosuolo. Tale situazione si verifica o in siti su roccia o in siti in cui la velocità di propagazione delle onde di taglio aumenta gradualmente con la profondità, senza significative variazioni di impedenza all'interno dello stesso. Tuttavia, se la velocità delle onde di taglio per lo strato superficiale non è nota, esistono infinite soluzioni tutte ugualmente valide; per ovviare a

tale problema e fornire un profilo di velocità con la profondità, è necessario vincolare la curva H/V; per fare ciò occorre tarare le indagini HVSR, effettuando una misura in corrispondenza di un punto in cui è nota la profondità di un orizzonte da prove dirette (sondaggi o prove penetrometriche) e riconoscere il rispettivo marker sulla curva H/V. Solo in questo modo è possibile conoscere la Vs dello strato superficiale ed estendere in maniera areale le indagini effettuate. L'ulteriore ipotesi che il rapporto spettrale H/V possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima della validità del profilo stratigrafico calcolato. I due picchi localizzati a frequenze vicine tra loro, unitamente alla forma delle due curve (rapporto spettrale H/V e curva di ellitticità) che mostrano un andamento "simile", rappresentano un buon indicatore della validità del modello proposto. Il grafico HVSR è generalmente un grafico frequenza–ampiezza del rapporto H/V. Ciascun picco nel grafico H/V corrisponde ad un livello stratigrafico che presenta un contrasto di impedenza rispetto al livello sottostante. Maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore è l'ampiezza attesa del picco H/V sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare. È ovvio che il numero di picchi visibili in un grafico HVSR dipende dal contrasto, dalla distanza tra le due discontinuità e dalla funzione di lisciamento impiegata. Un contrasto basso tra due discontinuità vicine le renderà difficilmente individuabili singolarmente ed allo stesso tempo un lisciamento ampio, agendo da filtro passa basso, renderà coalescenti le discontinuità minori. Per le stesse ragioni l'aumento del lisciamento porta anche ad una diminuzione dell'ampiezza assoluta di ciascun picco.

2.3 Strumentazione utilizzata

L'acquisizione in campagna è stata effettuata mediante un sismografo GEA 24 al quale viene collegato un geofono 3d da superficie denominato 3DLG-2 2Hz della ditta Pasi; per l'esecuzione corretta di queste misure sono state tenute in considerazione le indicazioni contenute nel Progetto SESAME (Site EffectS Assessmentusing Ambient Excitations, 2004).

Ogni acquisizione svolta ha avuto una durata di 25 minuti.

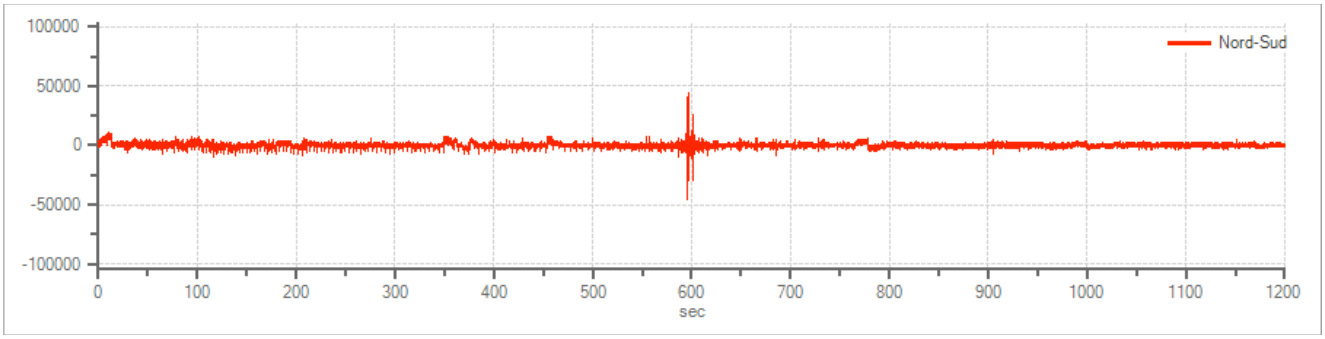
L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante il software "Heasy HVSR", il quale permette l'analisi del rapporto spettrale dei microtremori con registrazioni a stazione singola.

2.4 HVSR 1

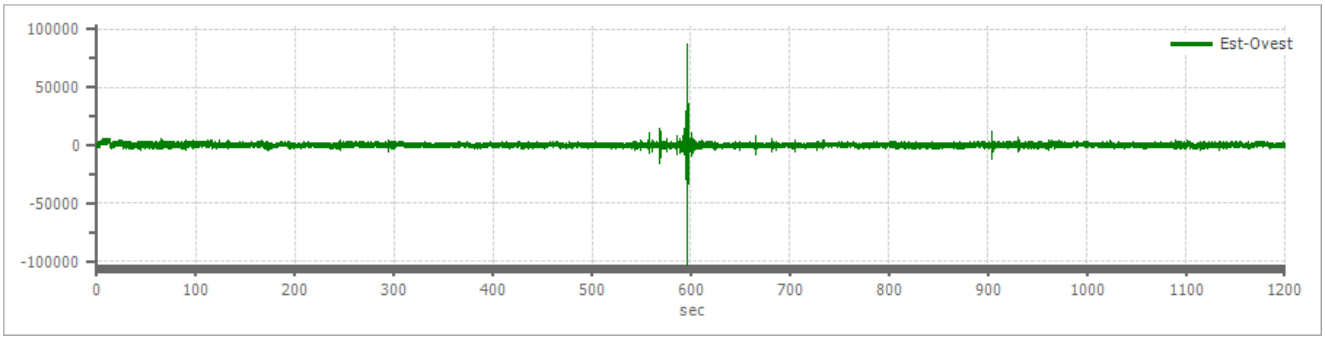
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1500 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	375000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

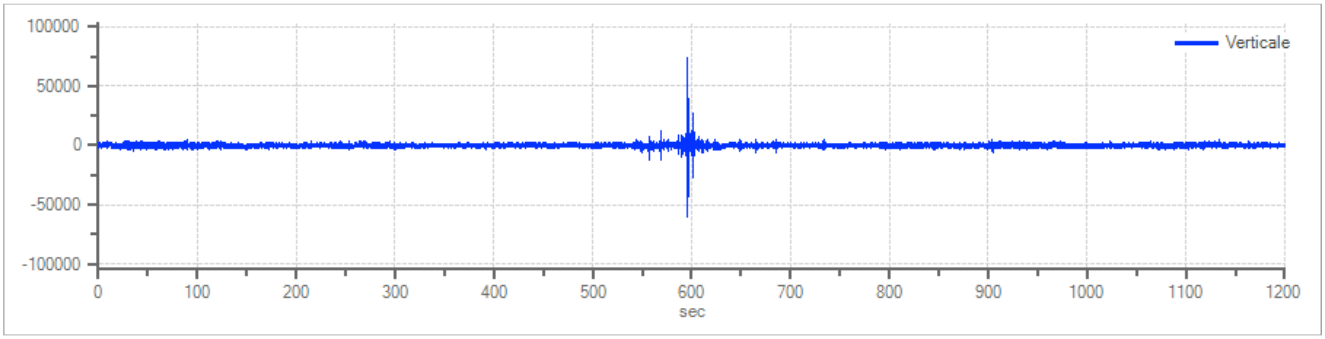
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 56

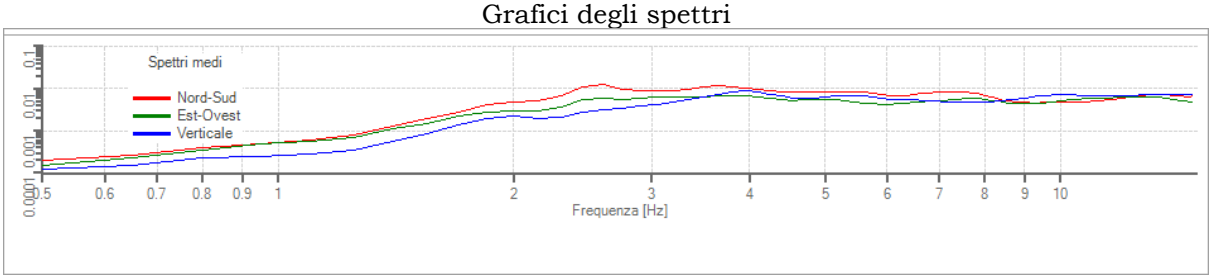
Numero finestre incluse nel calcolo: 31

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

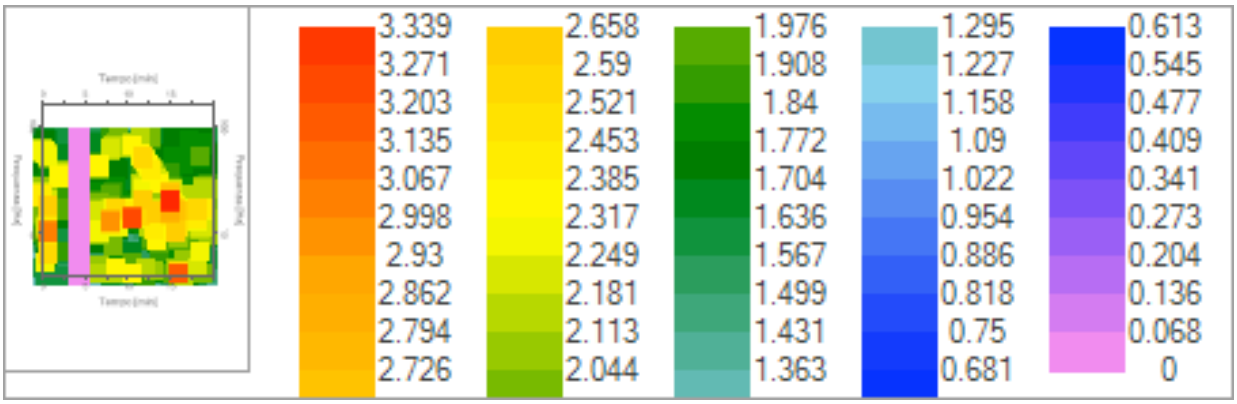
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 5.00 %

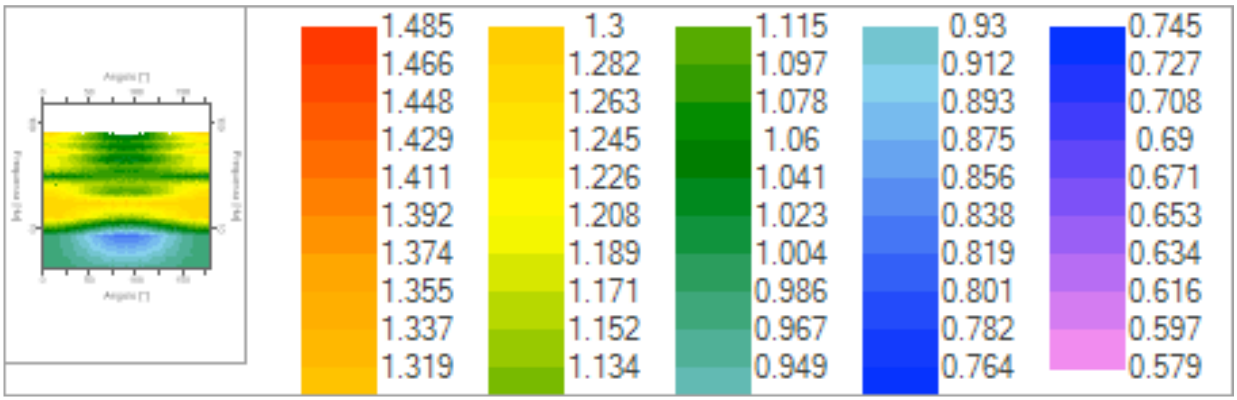
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 80.00 Hz

Frequenza minima: 4.00 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

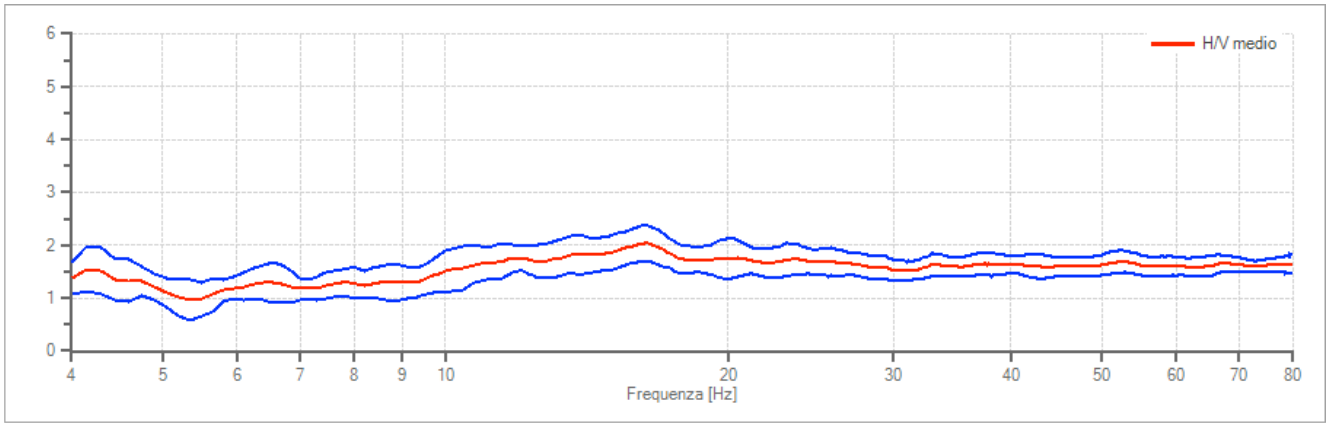
Percentuale di lisciamento: 5.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **15.80 Hz ±0.40 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5Hz$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

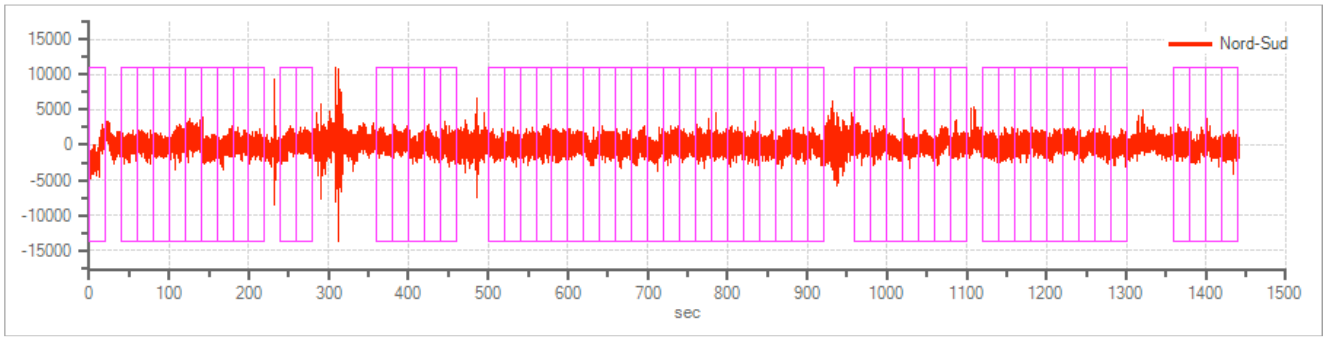
2.5 HVSR 2

Dati riepilogativi:

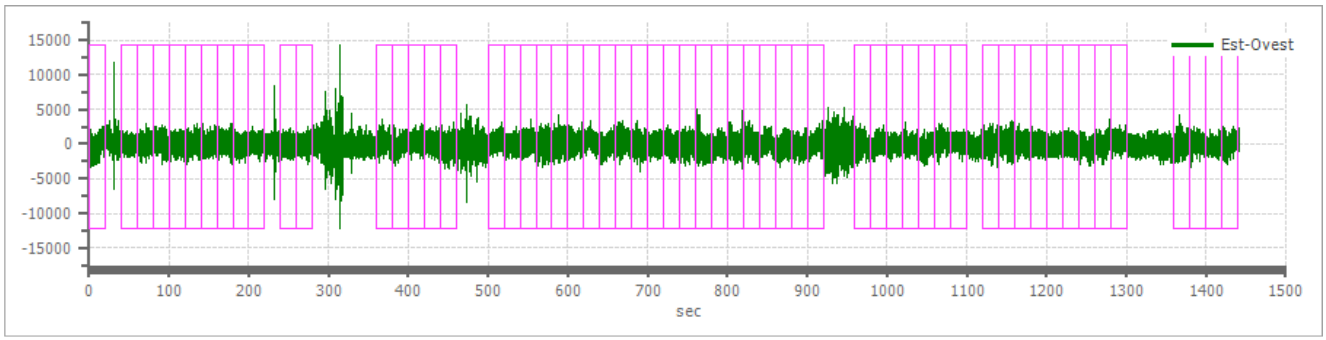
Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1500 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	375000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce:

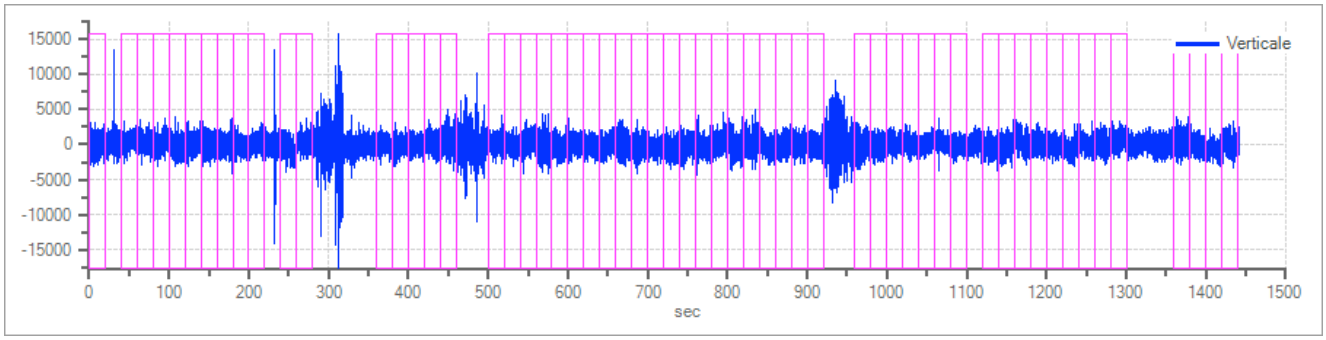
Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale



Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 58

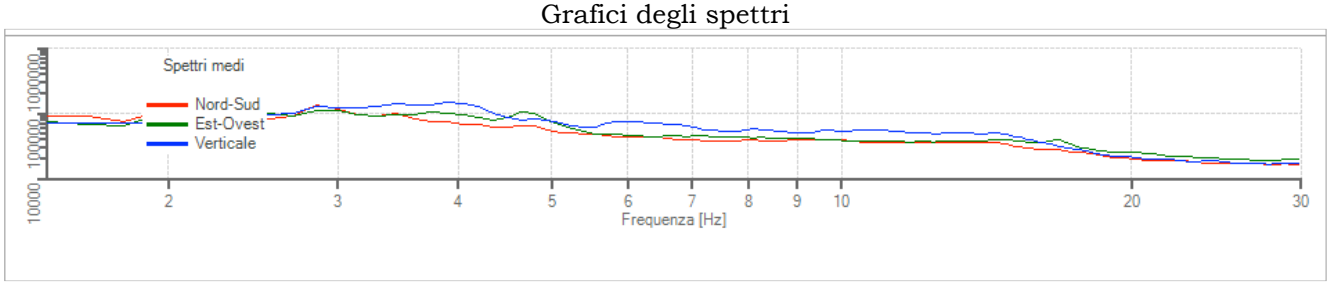
Numero finestre incluse nel calcolo: 57

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

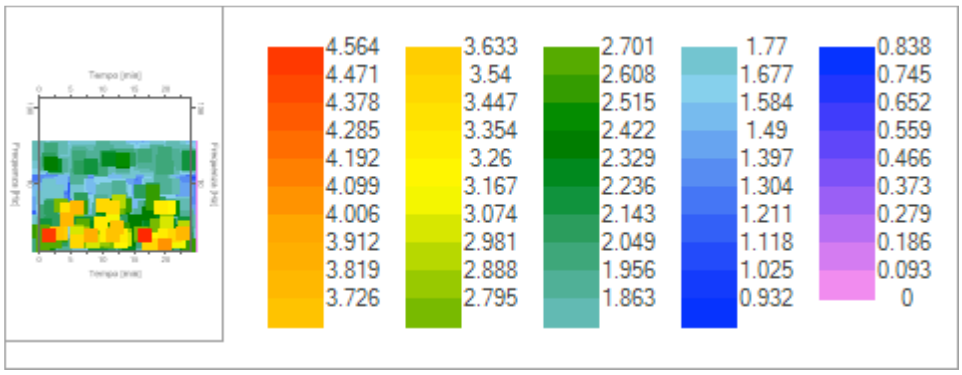
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 5.00 %

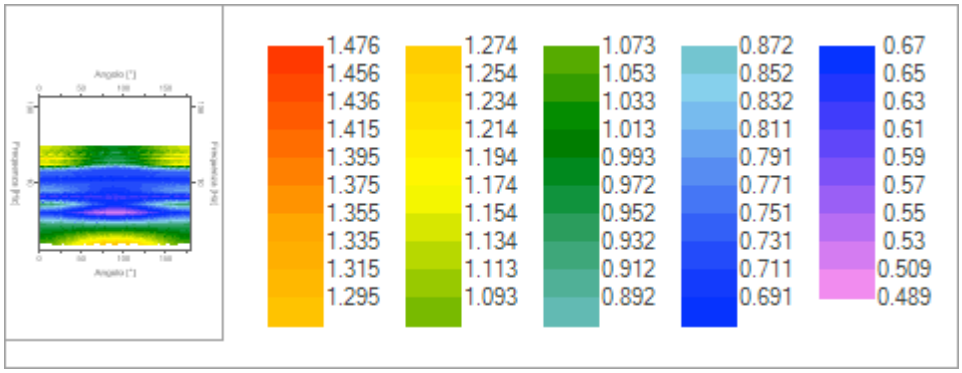
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 30.00 Hz

Frequenza minima: 1.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

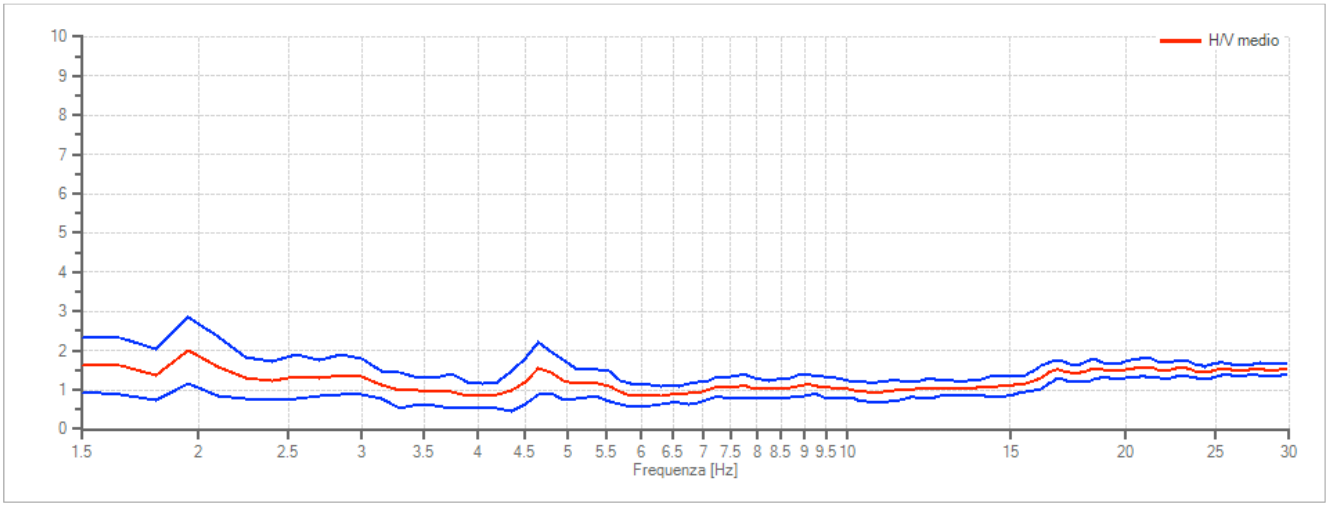
Percentuale di lisciamento: 70.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **1.95 Hz ± 0.43 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

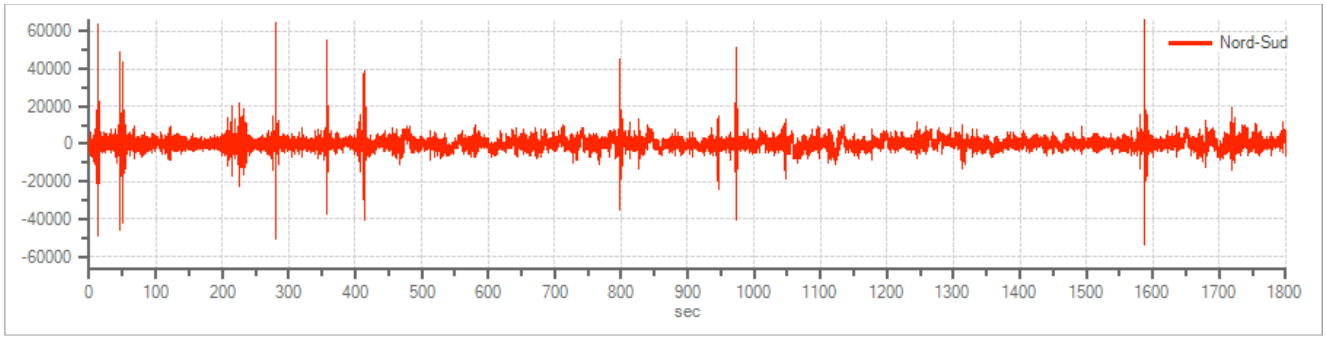
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

2.6 HVSR 3

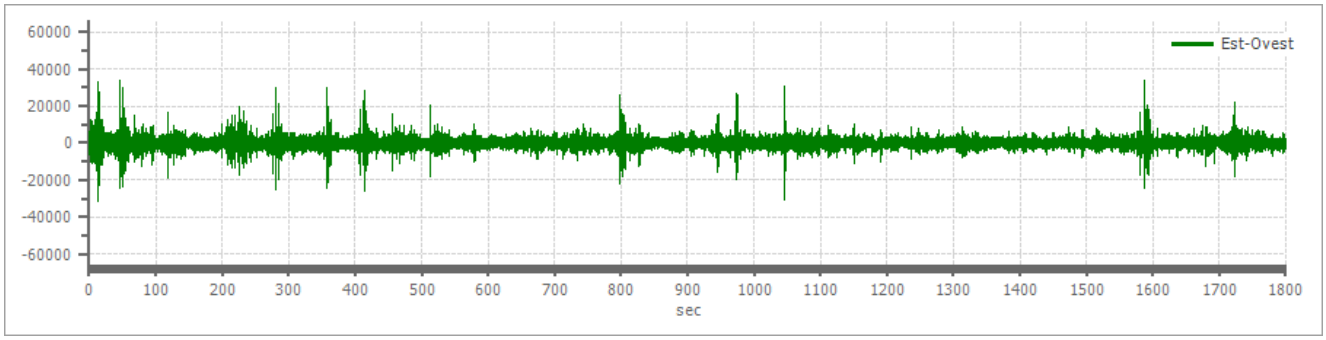
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1500 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	375000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

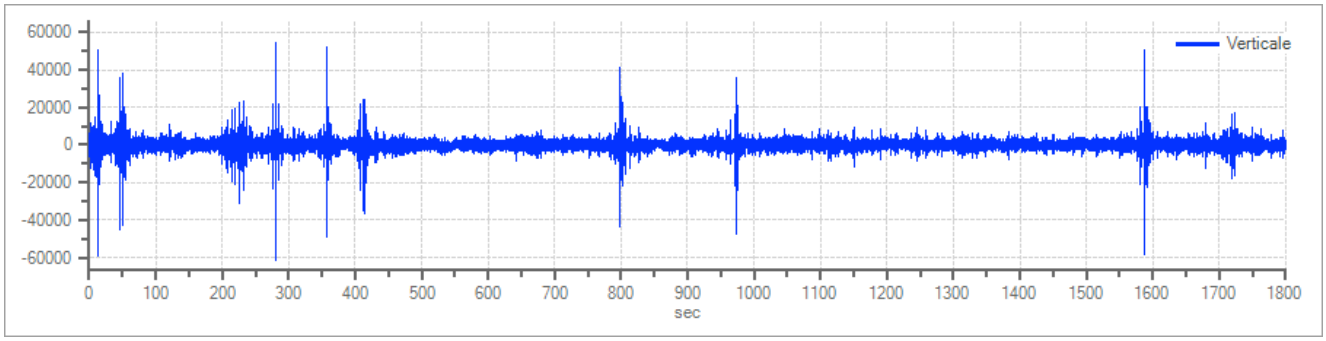
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 48

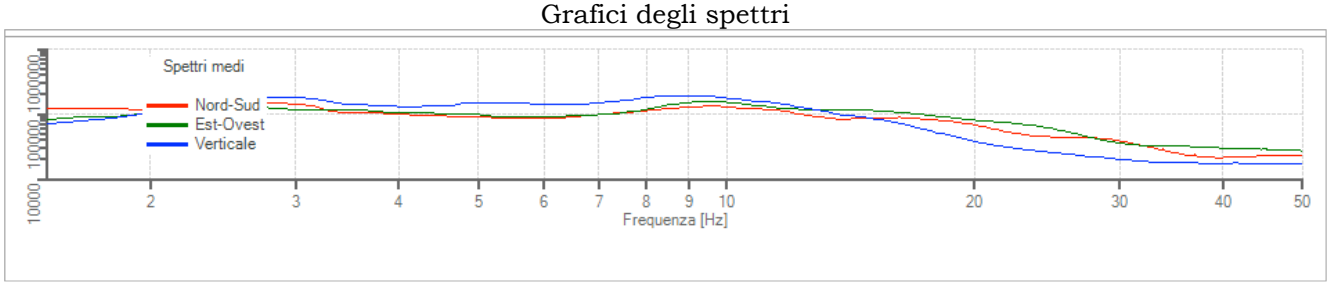
Numero finestre incluse nel calcolo: 41

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

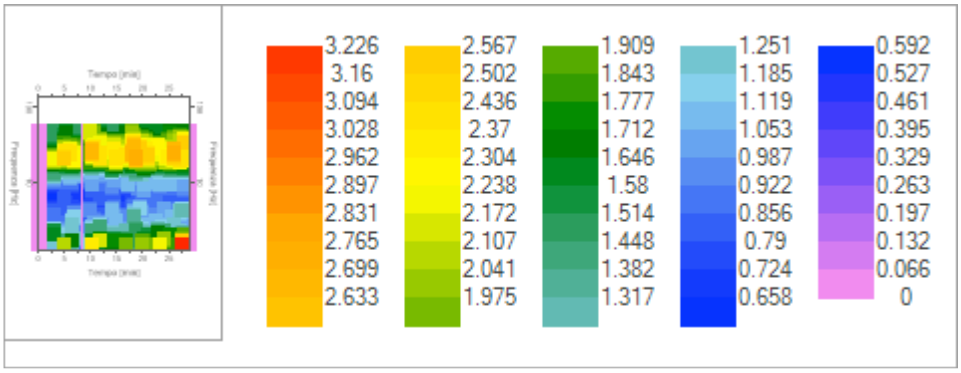
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

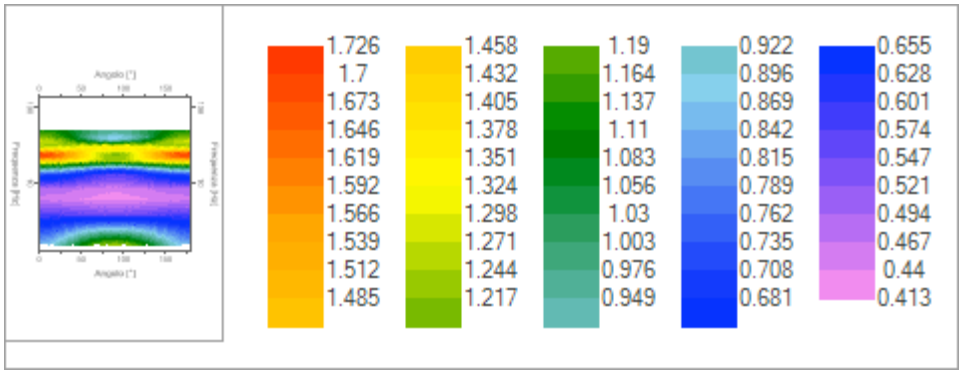
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

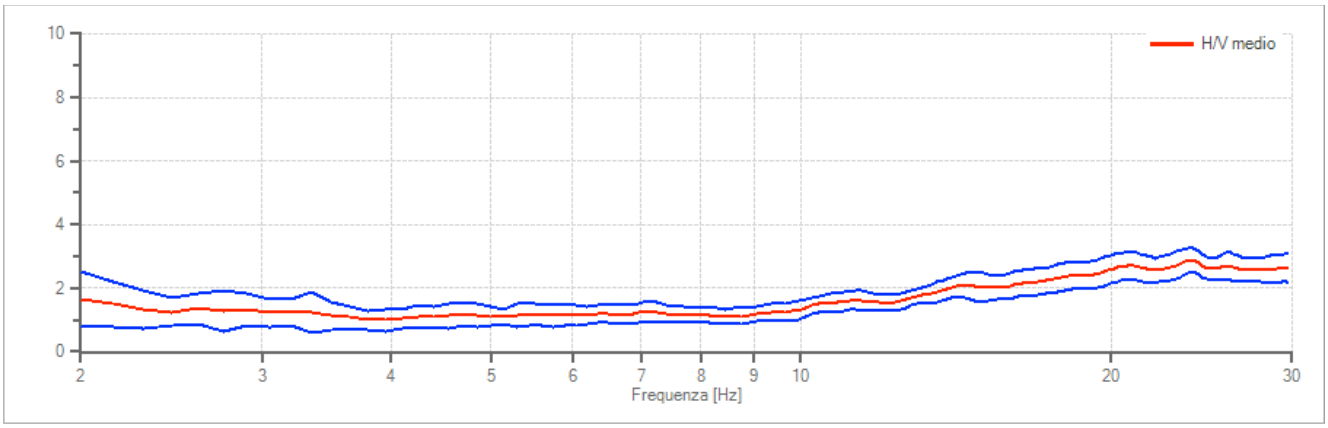
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	80.00 Hz
Frequenza minima:	4.00 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	5.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **23.90 Hz ± 0.15 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

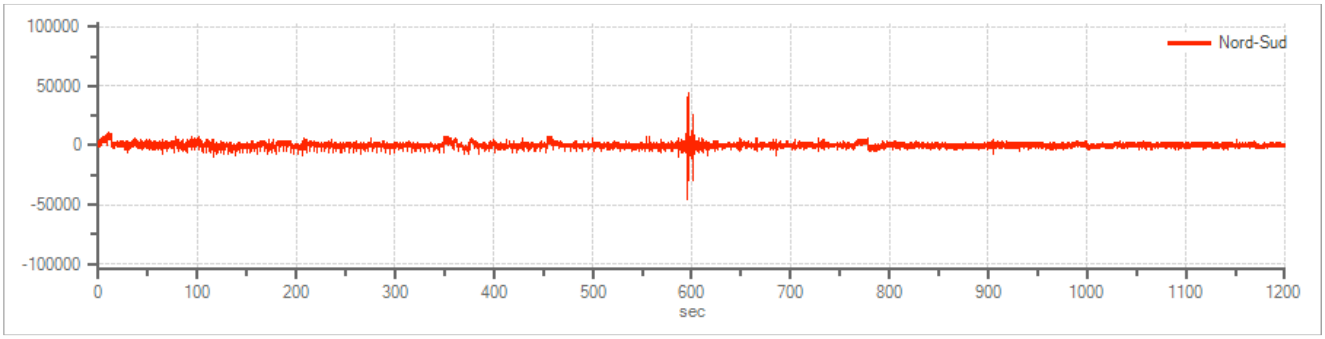
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

2.7 HVSR 4

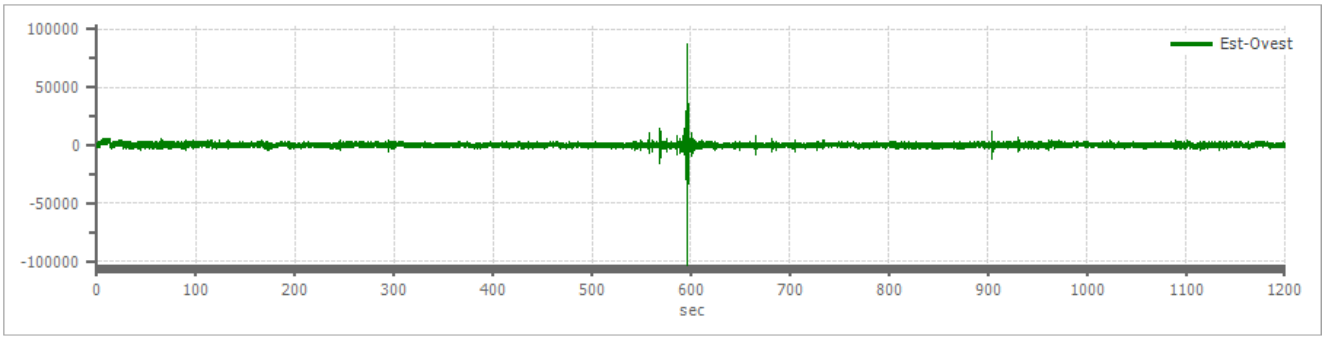
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1500 s
Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Numero campioni:	375000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

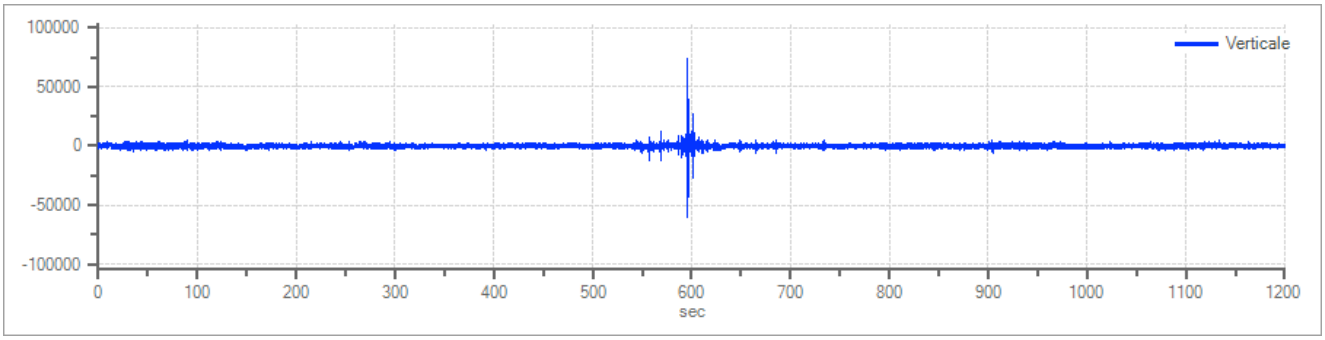
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 56

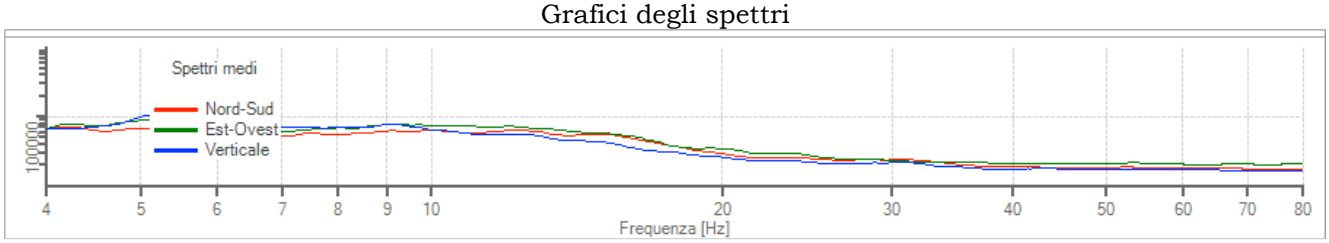
Numero finestre incluse nel calcolo: 33

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

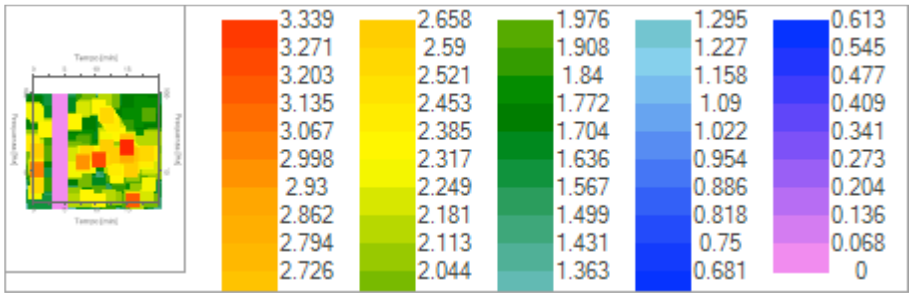
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

Percentuale di lisciamento: 5.00 %

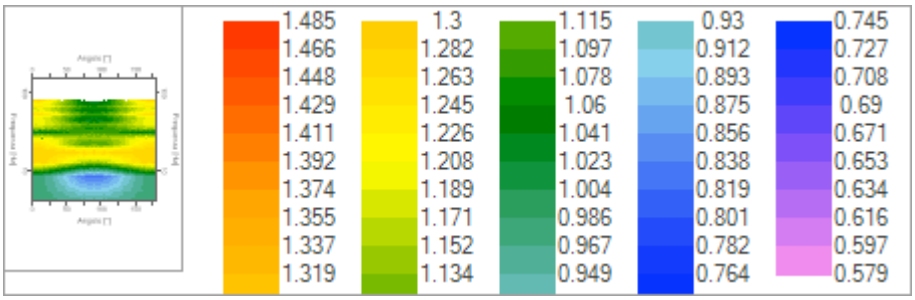
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 80.00 Hz

Frequenza minima: 4.00 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

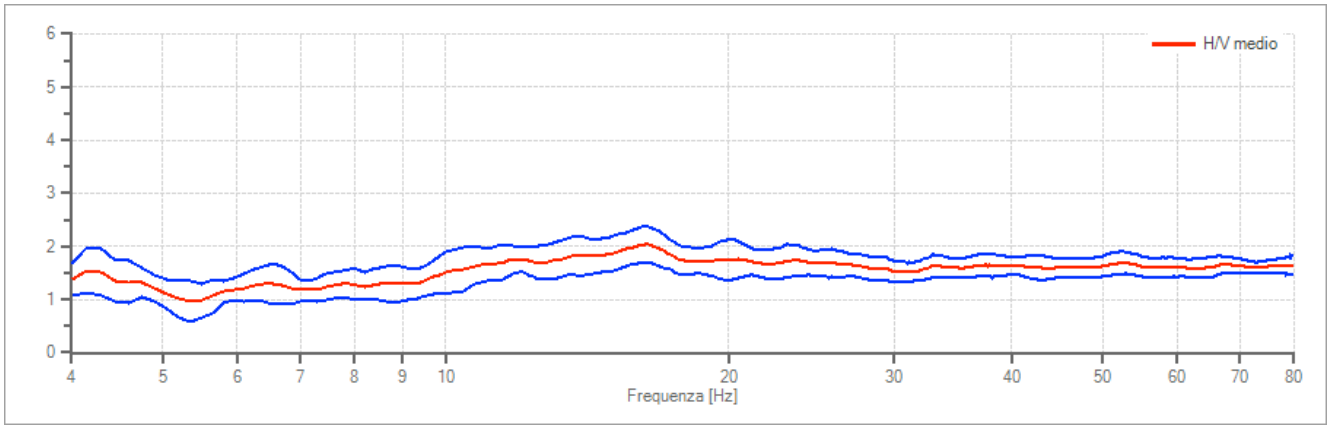
Percentuale di lisciamento: 5.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **16.45 Hz ± 0.17 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5Hz$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

2.8 HVSR 5

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3

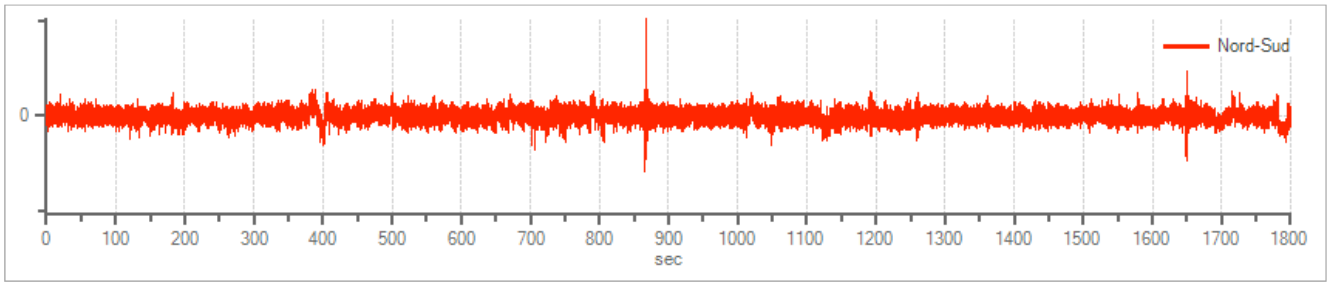
Durata registrazione: 1800 s

Frequenza di campionamento: 155.00 Hz

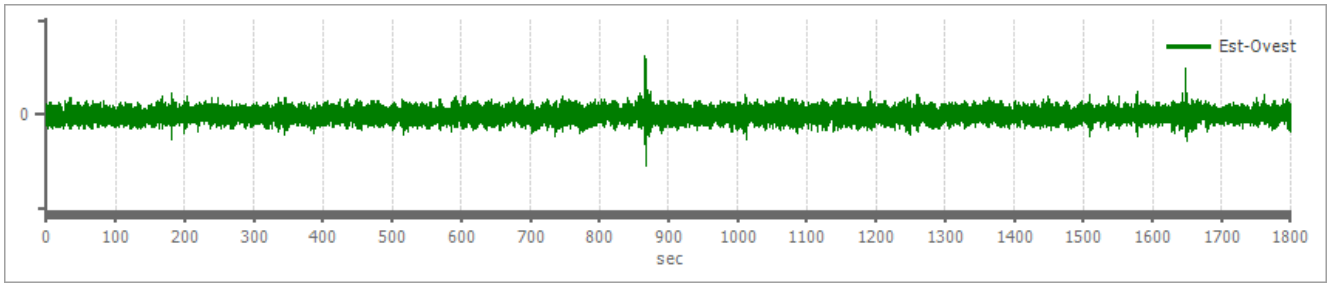
Numero campioni: 375000

Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

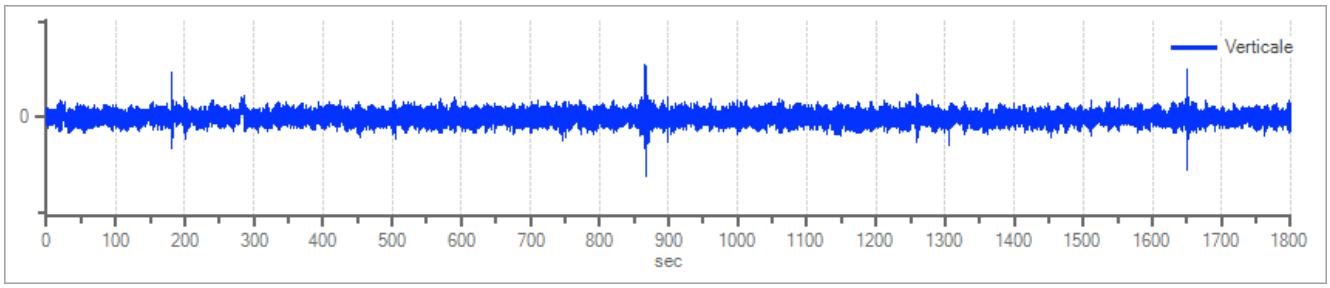
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 80

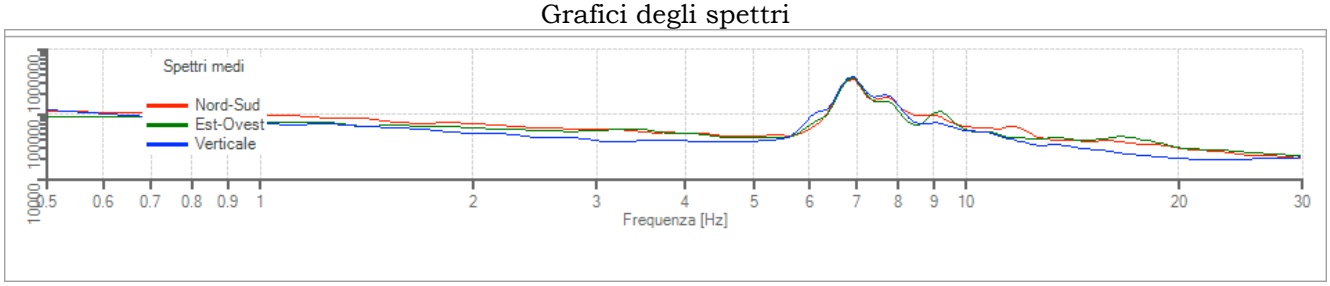
Numero finestre incluse nel calcolo: 78

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

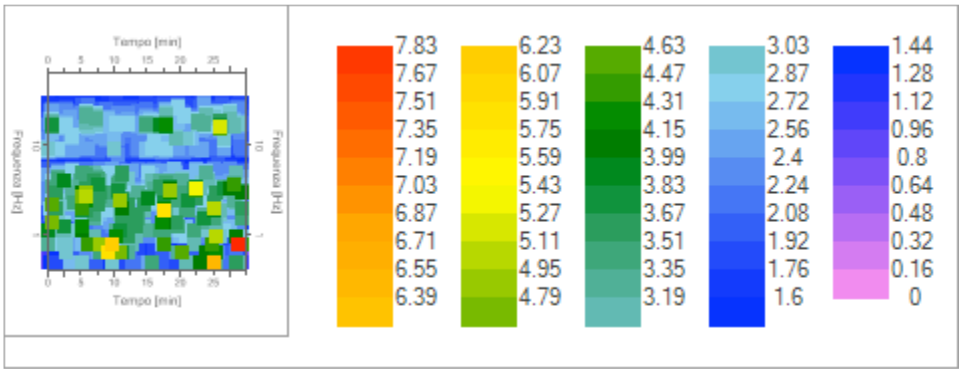
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 20.00 %

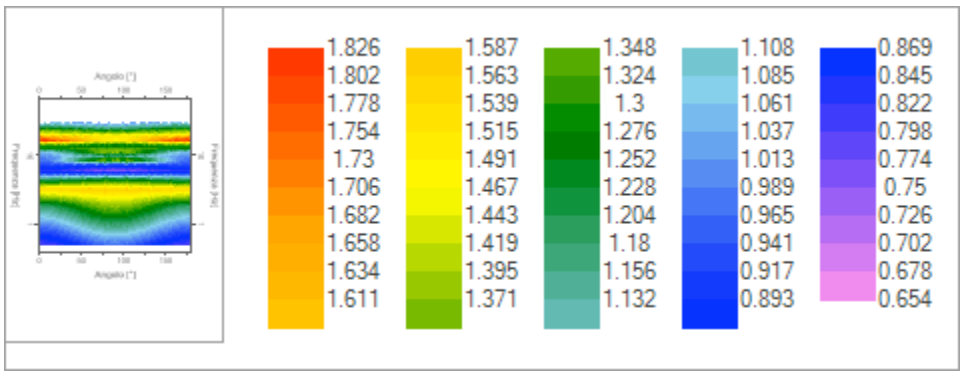
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi

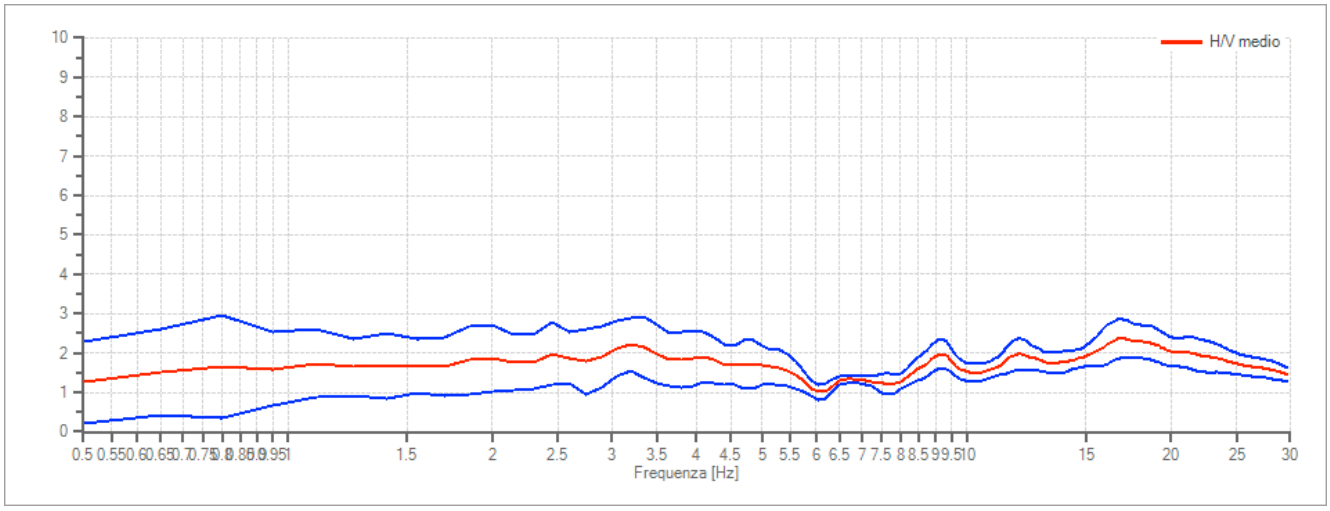
Percentuale di lisciamento: 5.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **17.03 Hz ± 0.20 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

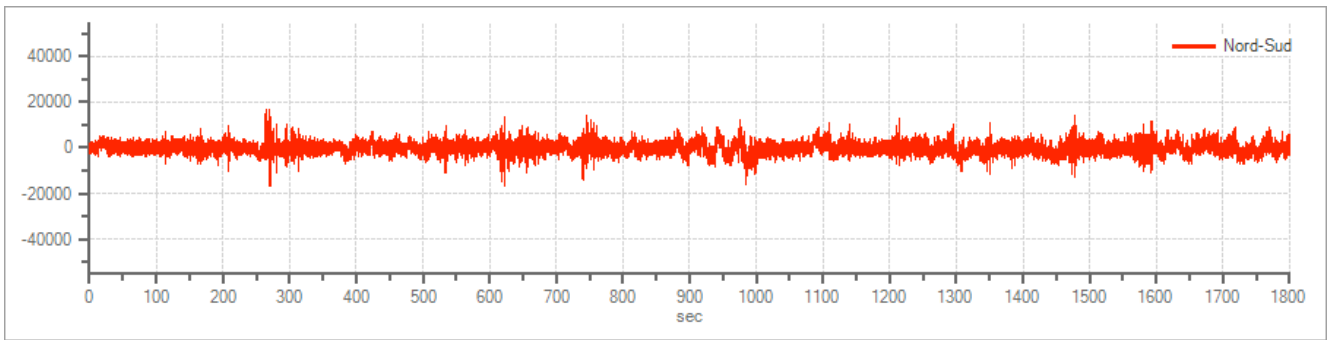
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

2.9 HVSR 6

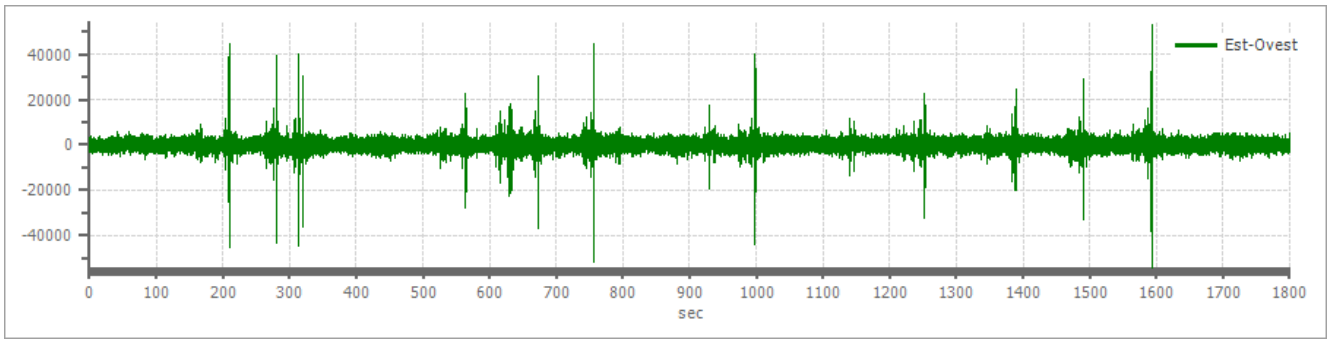
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	150.00 Hz
Numero campioni:	280000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

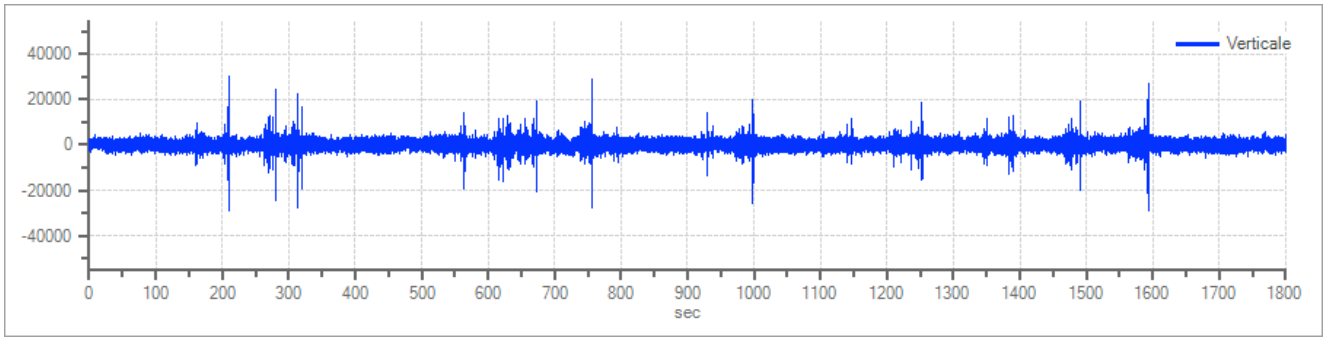
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 48

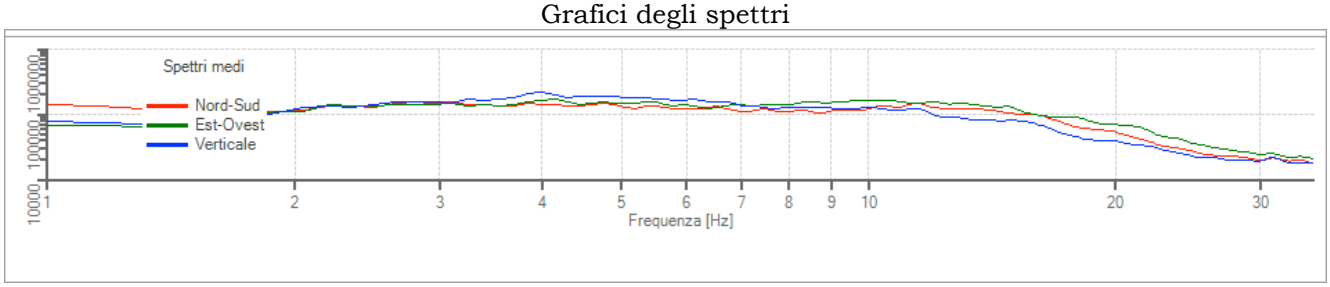
Numero finestre incluse nel calcolo: 41

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

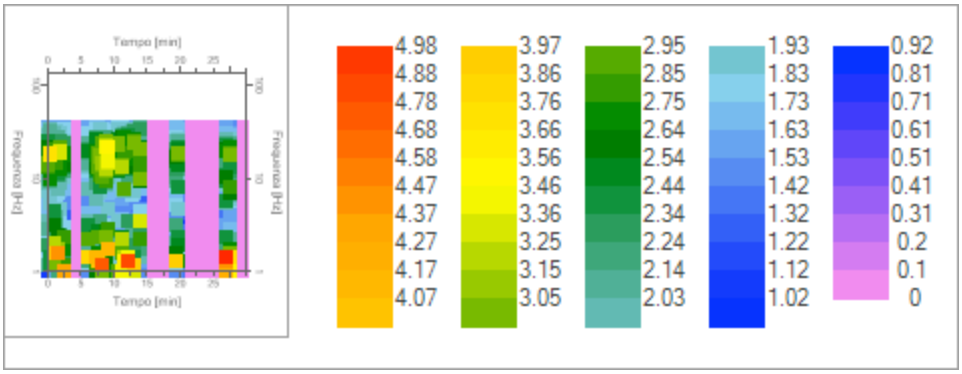
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00 %

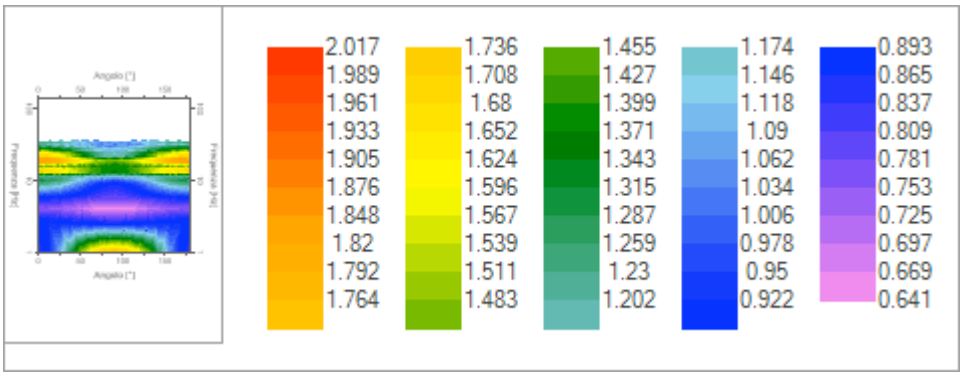
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 38.00 Hz

Frequenza minima: 2.00 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi

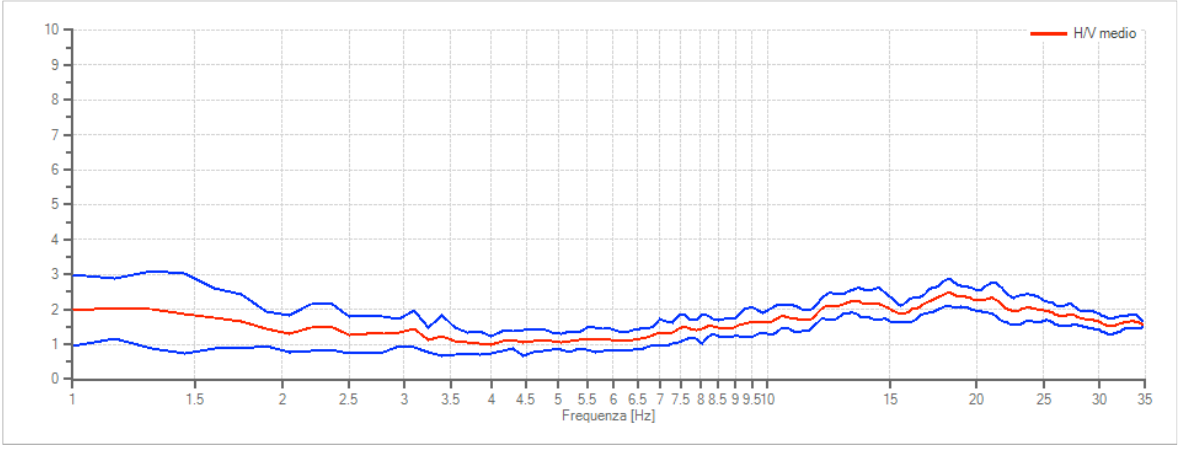
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: **18.30 Hz ± 0.15 Hz**

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3 \quad per \quad 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \quad se \quad f_0 < 0.5Hz$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok